SCIENCES ET AVENIR
sciencesetavenir.fr

© DEBBY TERMONIA - ELECTRALEE/MAGE

DIEUX, ALGORITHMES ET BIG DATA
p.50

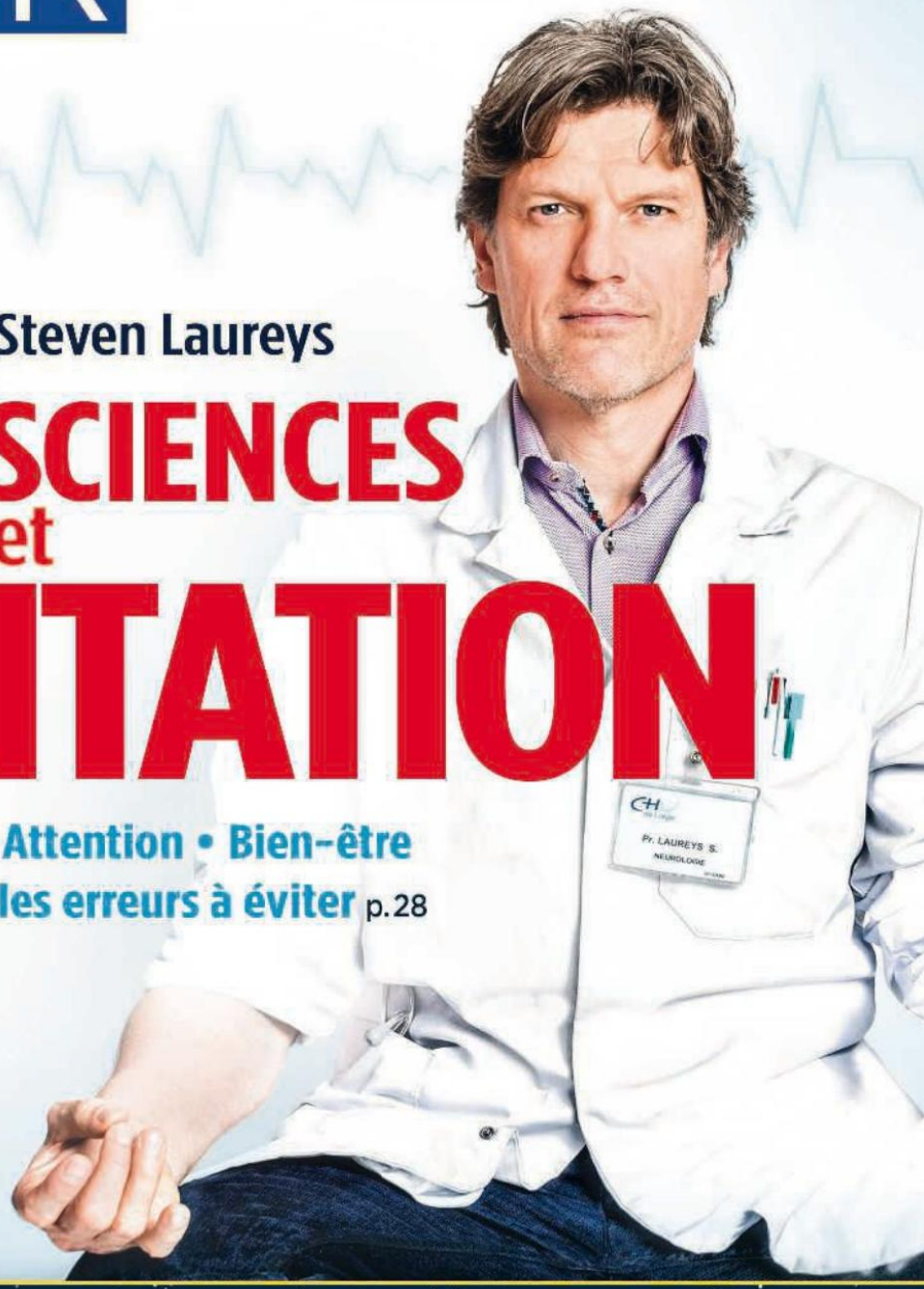
JANVIER 2020 - N° 875 ALLEMAGNE 6.80 € / AUTRICHE 5.80 € / BELGIQUE 5.20 € / GRÈCE 5.20 € / ESPAGNE 5.20 € / ITALIE 5.20 € / DOM 5.20 € / ANDORRE 4,90 € / LUXEMBOURG 5.20 € / PORTUGAL 5.20 € / TOM 730 XPF / TOM (AVION) 1400 XPF / SUISSE 8.80 CHF / TUNISIE 7.90 TND / MAROC 50 DH / CANADA-USA 7.50 $

M 02313 - 875S - F: 5,80 € - RD

Avec le Pr Steven Laureys

NEUROSCIENCES et MÉDITATION

- Contrôle de soi
- Attention
- Bien-être
- Les risques et les erreurs à éviter p.28



Cosmologie

L'ÂGE DE L'UNIVERS EN DÉBAT

p.44

SCIENCES ET AVENIR - N° 875 - JANVIER 2020 - NEUROSCIENCES ET MÉDITATION

FABRIQUÉ EN FRANCE

CULTIVEZ VOS AROMATES FRAIS TOUTE L'ANNÉE **SANS EFFORT !**

Offrez un potager d'intérieur Véritable®

Véritable® invite les aromates frais au cœur de votre cuisine pour des expériences culinaires uniques. Dotés d'un éclairage LED horticole haute performance et d'un système d'irrigation automatique, nos potagers autonomes assurent des récoltes régulières et abondantes sans aucun effort.

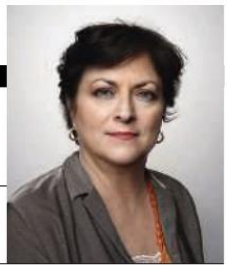
2 LINGOTS® OFFERTS* avec le code : **LINGOTSA875**

Véritable®

*Offre valable du 19/12/2019 au 31/01/2020 pour toute commande d'un potager Véritable® ou Exky® sur www.veritable-potager.com en saisissant le code LINGOTSA875. Limité à une offre par client. Non fractionnable, non échangeable, non remboursable.

www.veritable-potager.com

ÉDITO



BERNARD MARTINEZ

Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Sport cérébral

Voilà près de quinze ans que *Sciences et Avenir* se penche sur la méditation, et force a été de constater que le sujet n'a cessé de prospérer, sorti en particulier de sa seule visée religieuse. Ce sont les effets mesurables de cette pratique — bienfaits et risques — qui focalisent aujourd'hui l'attention, ce que traduit notre dossier en couverture, réalisé par Hugo Jalinière et Elena Sender. Pour mémoire, rappelons que remonte à 2004 « *le premier travail sérieux et de haut niveau, étudiant les effets [sur l'activité du cerveau] de l'entraînement de l'esprit à long terme* », selon les termes employés à l'époque par le moine bouddhiste Matthieu Ricard, antérieurement chercheur en génétique cellulaire à l'Institut Pasteur, dont la célébrité a explosé*. Plus précisément, il s'agissait d'un article évoquant les « *ondes gamma de haute amplitude* » chez des méditants de haut niveau, publié dans la revue de l'Académie des sciences américaine *PNAS* (*Proceedings of the national academy of sciences*). Le coup d'envoi scientifique était donné, il n'est pas retombé. À preuve, au cœur de notre dossier, les travaux actuels du neurologue Steven Laureys, directeur du Coma Science Group au CHU de Liège. Il n'est pas inutile de noter que, selon ce dernier, la méditation « *n'a rien de magique ni d'ésotérique* ». Il s'agit d'une « *gymnastique mentale* ». Et, de même qu'une gymnastique physique assouplit les articulations, cet entraînement de l'esprit agit sur les neurones et neuromédiateurs. Version positive, ce sport cérébral permet de réguler les émotions et d'améliorer le contrôle de soi *(pp. 30-32)*. Ou encore, de mieux maîtriser son attention. Comme tous les indicateurs sur ce sujet sont au rouge — les multiples écrans, smartphones, ordinateurs, nous distraient ; les alertes venues de sites d'information ou de réseaux sociaux nous font jongler entre de multiples idées, etc. — beaucoup s'interrogent sur la meilleure façon de contrecarrer pareille dissipation ! Le neurobiologiste Jean-Philippe Lachaux (CNRS, Lyon) met les points sur les i : comme « *le cerveau multitâche n'existe pas* », il va falloir s'entraîner à « *l'exercice de régulation attentionnelle* », ce que la méditation permet de pratiquer « *par excellence* ». Attention à l'attention, nous répète-t-il. Seulement voilà, il ne faudrait pas oublier le versant négatif du domaine. Récemment, précisons-nous, un collectif international de 15 chercheurs a alerté sur le fait que les risques de la méditation avaient été négligés *(pp. 36-38)*. Il y a d'abord les contre-indications médicales : dépression, addictions, troubles bipolaires, etc. Ensuite, tout sauf négligeables, les risques de dévoiement de la pratique au profit de dérives sectaires. Gare, donc, aux pièges des margoulins qui spéculent sur la vulnérabilité de leurs concitoyen.ne.s avides de mieux-être. Un constat à méditer en conscience. ■ @dominiqueleglu

* Lire « Le moine et les neurosciences » *S. et A.* n° 702, août 2005, pp. 49-52.

SCIENCES ET AVENIR

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteur(trices) en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes
Andreina DE BEI (photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (pôle digital) - 01.55.35.56.39

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chef(fe)s de service
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Cheffe de rubrique
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27 - Olivier HERTEL (technologie, futur) - 01.55.35.56.03
Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grande reporteure (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs(trices)
Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN

Ont participé à ce numéro
Marine BENOIT, Cécile COUMEAU, Héloïse CHAPUIS, Pierre KALDY, Coralie LEMKE, Muriel de VÉRICOURT

Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Pôle digital
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Anne-Sophie TASSART (rédactrice animaux) - 01.55.35.56.41
Camille GAUBERT (rédactrice santé) - 01.55.35.56.24
Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14

Fabrication
Christophe Perrusson

Publicité
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale :
Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

Abonnements et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir
4, rue de Mouchy 60438 Noailles cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €.
Tarifs pays étrangers sur demande.

Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

Directeur de publicité :
Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75

Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08

Assistante commerciale :
Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57

Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05

Administration des ventes :
Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

Directeur commercial : Valéry SOURIEAU

Partenariat: Joëlle HEZARD - 01.58.65.09.99

Directeur des abonnements
Luc BONARDI
Responsable des abonnements
Lina QUACH 01.55.35.56.63

Relations extérieures :
Marianne BOULAT - 01.70.98.19.66

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : **Claude PERDRIEL**
Secrétaire général :
Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia : Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris.
Tél. : 01.55.35.56.00.

PEFC 10-31-3364
PEFC recyclé
Ce produit est issu de sources recyclées et contrôlées.
pefc-france.org

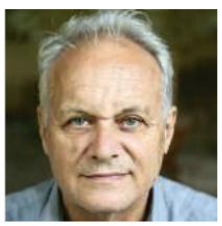
Origine du papier : Italie
Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Newsprint (Lieusaint), certifié PEFC

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend : un encart « RBA-Collections Le Monde » jeté sur couverture en diffusion totale des abonnés ainsi qu'un message « Psychologies » jeté sur couverture en diffusion partielle des abonnés. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

Manchots papous, Malouines - Argentine

Phare des Éclaireurs - Canal de Beagle

Éclipse solaire



Photos de gauche à droite :

Jean-Pierre Luminet
Astrophysicien et écrivain

Pierre-Jean Furet
Historien

Renvoyez ce coupon à Croisières d'exception - 77 rue de Charonne - 75011 Paris

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

Tél. : |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| |_|_| E-mail : .....

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant. * Si les conditions météorologiques le permettent. ** Se référer à la brochure pour le détail des prestations et les conditions générales de vente. Les conférenciers seront présents sauf cas de force majeure. Licence n° IM075150063. Crédits photos : © HollandAmerica Line, © Shutterstock et © Croisières d'exception. Création graphique : nuitdepleinelune.fr

sciencesavenir-191219-2012-pataeclipse

CROISIÈRE

Éclipse solaire en Patagonie

Chili - Malouines - Uruguay - Argentine

Du 1er au 19 décembre 2020

Éclipse solaire le 14 décembre

Parc national Torres del Paine - Chili

Embarquez à bord du *Coral Princess* vers les terres mythiques de la **Patagonie**. Assistez au spectacle rare et magique de l'**éclipse solaire** prévue le 14 décembre* au large de l'Argentine qui vous sera commentée par **Jean-Pierre Luminet**, astrophysicien et émerveillez-vous devant la faune et les paysages splendides des pays traversés, de l'**Argentine** au **Chili** en passant par, les **îles Malouines**, **Ushuaia**, le **détroit de Magellan** et le **cap Horn**.

Possibilité d'effectuer un pré-séjour à l'Île de Pâques ou dans le désert d'Atacama.

Le *Coral Princess*

OFFRE SPÉCIALE - **500 €/pers.** pour toute réservation avant le 31 janvier 2019 (code REVE)

soit la croisière à partir de ~~5 490 €~~ **4 990 €/pers.****
au départ de Paris à bord du *Coral Princess*

* Vols depuis Paris, pension complète, boissons (sélection), conférences et taxes inclus. Départ de province possible : nous consulter.

Demandez la brochure au **01 75 77 87 48**, par e-mail à **contact@croisieres-exception.fr** ou sur **www.croisieres-exception.fr/brochures** (code **SAPAT** à renseigner).

Croisières d'exception

S'enrichir de la beauté du monde

35e CAMPAGNE DES RESTOS DU CŒUR

« J'ai une petite idée... »

on compte sur vous

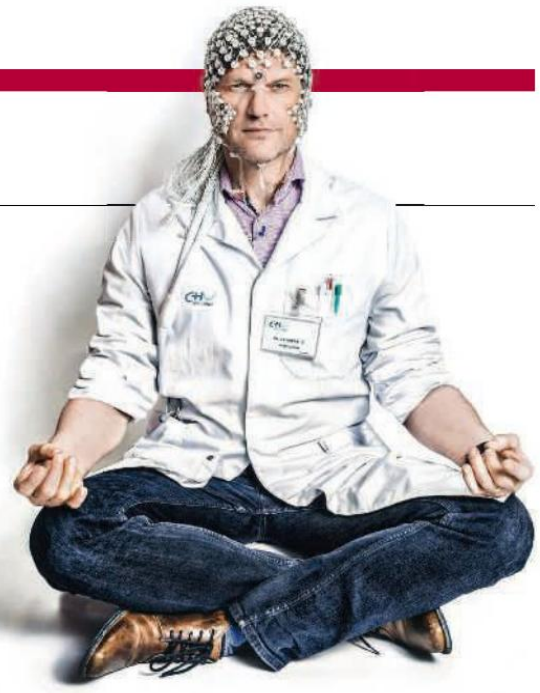
Coluche

Faites votre don sur : **dons.restosducoeur.org**

MERCI !

SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 875 / Janvier 2020



DOSSIER P. 28

Tout savoir sur la méditation

Des recherches récentes confirment les bienfaits de cette pratique qui régule l'attention et les émotions. Mieux, elle agit au cœur même de nos cellules, modifiant l'expression des gènes impliqués dans le métabolisme et le vieillissement cellulaire.

3 **Édito** par Dominique Leglu

9 **Courrier**

ÉVÉNEMENT

10 **Ce qu'il faut retenir de 2019**

SCIENCES FONDAMENTALES

14 **ACTUALITÉS** / Notre trou noir a expulsé une étoile / Un spray pour économiser l'eau des toilettes / Les nouvelles ambitions de l'ESA

40 **La comète qui enflamme les astronomes**

44 **L'expansion de l'Univers fait débat**

47 **Pourquoi la glace glisse aussi bien**

HISTOIRE

16 **ACTUALITÉS** / La plus ancienne figurine animale / Des messages de l'Empire romain de 2000 ans / À la recherche du corps de Montaigne

50 **Des algorithmes réécrivent l'histoire des religions**

56 **Une vaste cavité dans la pyramide de Kheops**

NATURE

20 **ACTUALITÉS** / Les vents soufflent de plus en plus fort / Une nouvelle forêt en Île-de-France / Les perroquets gaspillent pour de très bonnes raisons

58 **Le réchauffement climatique en équations**

62 **Les lacs de montagne pollués aux microplastiques**

65 **Le fabuleux destin des papillons**

Déterminer le taux d'expansion de l'Univers pour connaître son âge et écrire son histoire. p. 44

L'analyse des données massives révise la date d'apparition des « grands dieux » p. 50

Au centre de recherche Mila de Montréal, les scientifiques font rimer numérique et éthique p. 86

SANTÉ

22 **ACTUALITÉS** / Vivre normalement avec un demi-cerveau / La kiné respiratoire n'est plus recommandée contre la bronchiolite / Le virus de la rougeole efface la mémoire immunitaire

66 **À la recherche des bactéries perdues**

70 **Nutrition : le plaisir des fêtes, sans les excès**

72 **Quand la cigarette électronique devient mortelle**

75 **Des vaccins courants aux vertus anticancéreuses**

HIGH-TECH

24 **ACTUALITÉS** / Une batterie transparente comme du verre / Un robot flexible et rétractable / Tesla se lance dans le pick-up

86 **À Montréal, dans le quartier général de l'IA éthique**

90 **Un tunnel flottant pour franchir les fjords**

92 **Portrait : Tristan Nitot, informaticien**

94 **Comment ça marche : Les plantes vertes font le mur**

RENDEZ-VOUS

96 **Le ciel de janvier**

98 **Livres en fête**

102 **Expositions**

103 **Questions de lecteurs**

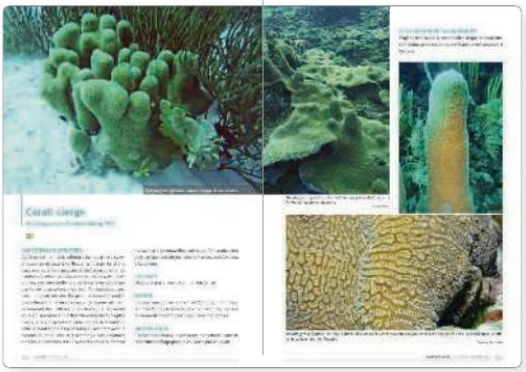
104 **Décryptage : Le traitement anticalvitie est-il dangereux ?**

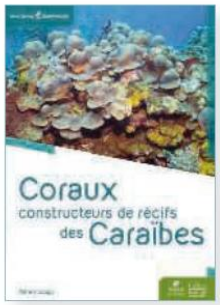
106 **L'info en continu sur sciencesetavenir.fr**

DEBBY TERMONIA - NASA/CXC/ESO/F. VOGT ET AL ; OPTICAL (ESO/VLT/MUSE & NASA/STSCI) - ISABEL ESPANOL - OLIVIER HERTEL

MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

coraux





CORAUX CONSTRUCTEURS DE RÉCIFS DES CARAÏBES

Patrick **Scaps**

Collection **Inventaires & biodiversité**
165 x 240 mm broché | texte en français, 240 p., 177 photos couleur | 25€ TTC (23,70€ HT)
coédition Biotope | **ISBN** 978-2-85653-890-6 | novembre 2019

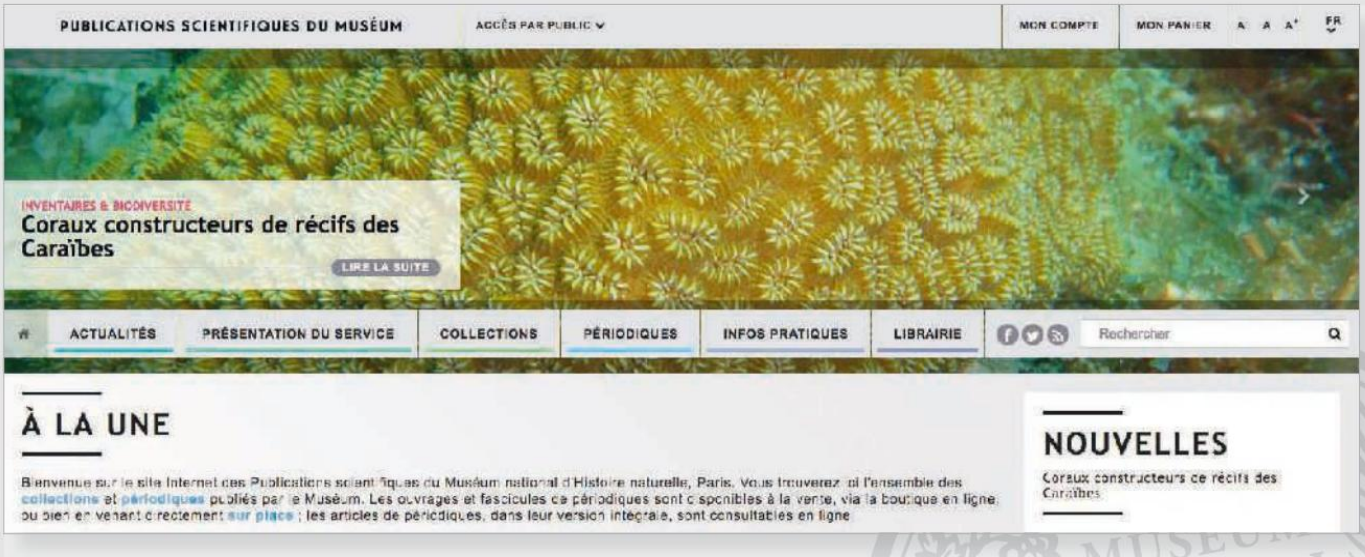
Les coraux appartiennent à l'embranchement des Cnidaires (auquel appartiennent également les méduses), ces organismes coloniaux ont la particularité de secréter un exosquelette calcaire à l'origine de la construction d'écosystèmes les plus riches au monde : les massifs coralliens. Ne couvrant que 0,2 % de la surface des océans, ils abritent pourtant plus de 30 % de la biodiversité marine connue. Leur régression actuelle (destruction, blanchiment) partout à travers le monde constitue une menace majeure pour la biodiversité. On estime que près de 85 % des massifs coralliens des Caraïbes ont déjà disparu, et leur régression se poursuit en dépit des tentatives de sauvegarde initiées.

Cet ouvrage présente les coraux constructeurs de récifs des Caraïbes : il constitue un guide de référence pour l'identification et la connaissance des coraux durs de cette région, offrant une présentation générale de ces espèces (anatomie, classification, biologie, conservation).

Les 68 espèces présentées font l'objet de monographies détaillées et illustrées de photographies prises en milieu naturel.

Ce guide s'adresse aux naturalistes, aux passionnés de biologie marine, aux plongeurs et aux randonneurs palme-masque-tuba qui ne manqueront pas de s'impliquer dans la conservation des zones littorales des îles de la Caraïbe.

plus de renseignements et de contenus sur la librairie en ligne des Publications scientifiques



Commandez vos ouvrages depuis le **monde entier** sans intermédiaire.
Navigation transversale par **Moteur de recherche**, **Thèmes** et **Géozones**.

Téléchargez gratuitement les articles des revues *Geodiversitas*, *Zoosystema* et *Adansonia* (publiés depuis 2000).
D'autres revues sont consultables ou référencées...

Composez votre propre sélection en éditant un **catalogue** personnalisé au format PDF (A4).

SCIENCEPRESS.MNHN.FR

MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« Virage stratégique pour le nucléaire français »
(*Sciences et Avenir* n° 874, décembre 2019)

Après lecture de l'intéressant article sur le « Virage stratégique pour le nucléaire français » (*S. et A.* n° 874, décembre 2019), je souhaiterais obtenir votre opinion sur la persistance du choix de l'uranium pour nos réacteurs nucléaires. Car on a développé deux filières nucléaires : celle de l'uranium et celle du thorium. La première a été choisie car elle permettait de faire des bombes contrairement à la filière du thorium, mais toutes deux ont été essayées avec le même succès au début. Or les réacteurs au thorium sont beaucoup moins chers à puissance égale et beaucoup plus sûrs car ils fonctionnent à la pression atmosphérique. De plus les réserves d'uranium s'épuisent alors que celles de thorium sont énormes. **Jean Dispons**

S. et A. : Oui en effet, le thorium a été écarté en France dès le début, au profit de l'uranium. Il semblerait qu'au moment des choix, la filière de l'uranium était la plus avancée. Dans le contexte de la guerre froide et de la militarisation, le choix de l'uranium était surtout très lié à l'obtention du plutonium pour les bombes. Ce choix a-t-il déterminé par la suite l'ensemble de la filière ? C'est possible, d'autant qu'en France le nucléaire civil et militaire est géré par le même organisme…

Big Bang

Dans l'article consacré au prix Nobel de physique (*S. et A.* n° 873, p. 17), vous montrez une représentation de l'évolution de l'Univers… Alors que j'imaginais qu'une explosion dans l'espace enverrait des éléments dans toutes les directions, pourquoi ceux-ci partent-ils sur la droite ? **Salvatore Crudu**

S. et A. : Le Big Bang n'est pas une explosion. C'est une phase très dense et très chaude de l'Univers que la physique actuelle ne peut appréhender. Il n'a pas eu lieu en un point car à l'époque il n'y avait pas d'espace… mais partout en même temps. Il a donné naissance au temps et à l'espace. Cette illustration représente une « tranche » de l'espace, qui va en s'évasant : c'est d'abord l'inflation puis l'expansion et l'accélération de l'expansion qui explique sa forme.

Énergie de freinage

Dans l'article sur le « camion-benne qui se recharge tout seul » (*S. et A.* n° 872, p. 28), j'ai du mal à comprendre comment on transforme la chaleur des freins de l'engin en électricité. **Pierre Hugouvieux**

S. et A. : C'est l'énergie cinétique générée par le freinage qui est récupérée et transformée en électricité au lieu de se disperser sous forme de chaleur. Le projet de camion-benne à freinage régénératif se distingue des autres véhicules utilisant ce procédé parce que le poids de l'engin et de sa benne pleine nécessite un freinage si puissant qu'il permet réellement de recharger la batterie.

ON EST FAIT POUR S'ENTENDRE
FLAVIE FLAMENT 15H-16H

PHOTO : ANTOINE FLAMENT POUR RTL

Vendredi 20 décembre
"MÉDITATION ET CONTRÔLE DE SOI"

Avec Elena Sender,
Grand Reporter à *Sciences et Avenir*.

EN PARTENARIAT AVEC SCIENCES ET AVENIR

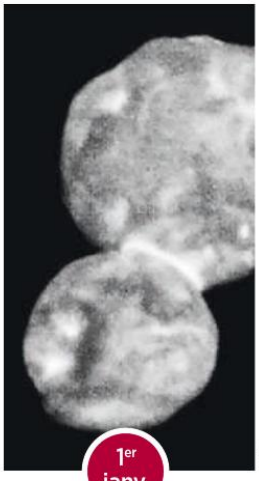
RTL
M6 GROUPE

Rétrospective

CE QU'IL FAUT RETENIR DE 2019

Espace et astronomie, biologie et médecine, environnement et climat, mais aussi physique quantique, high-tech, patrimoine : les 21 découvertes et événements de la science qui ont marqué l'année écoulée.

DOSSIER COORDONNÉ PAR
Mathieu Nowak



NASA

1er janv.

UNE SONDE SURVOLE L'OBJET CÉLESTE LE PLUS LOINTAIN JAMAIS ATTEINT

À 6,5 milliards de kilomètres du Soleil, la sonde américaine New Horizons passe à 3500 km du corps le plus lointain et le plus ancien jamais visité. Long de 33 km pour 20 km de large, l'astéroïde révèle une structure complexe, composée de deux lobes formés séparément, qui se sont agrégés à la suite d'une collision. Près d'un an plus tard, en novembre 2019, cet objet céleste d'abord baptisé Ultima Thulé a été renommé Arrokoth *(lire p. 105)*. L'ensemble des données envoyées par New Horizons nous parviendra d'ici à l'été, ce qui promet de nouvelles découvertes. **S. R.**
S. et A. n° 864.

AFP

3 janv.

LA CHINE SUR LA FACE CACHÉE DE LA LUNE

C'est une première qui a été réalisée par la mission chinoise Chang'e 4 en se posant sur la face sombre de notre satellite. Composée d'un atterrisseur et du rover Yutu 2, la mission a survécu à 4 nuits lunaires (soit plus de quatre mois) et à des températures de -190 °C. Elle a permis d'observer pour la première fois des roches issues du manteau sélène, sans doute remontées à la surface par un impact de météorite. Moins chanceuse, Bereshit, première sonde israélienne à destination de la Lune, s'est écrasée en novembre dernier sur le sol sélène. **S. R.**
S. et A. n° 864.

REUTERS

20 fév.

LES SMARTPHONES À ÉCRAN PLIABLE

Sensation au salon annuel de la téléphonie mobile, en février à Barcelone : voici les premiers smartphones à écran pliable. Les pionniers sont le coréen Samsung avec son Galaxy Fold et le chinois Huawei avec le Mate X. Mais ces produits dotés d'un écran Amoled souple verront leur commercialisation repoussée à plusieurs reprises en raison de problèmes de mise au point. Fin 2019, seul le modèle de Samsung est vendu en Europe (pour 2020 €), tandis que celui de Huawei n'est disponible qu'en Chine. Un troisième acteur pointe son nez : Motorola, dont le RAZR reprend le design du modèle phare de la marque, sorti 15 ans plus tôt. Sa commercialisation est prévue pour janvier 2020. **O. H.**
S. et A. n° 866, n° 867.

EVENT HORIZON TELESCOPE

10 avril

LA PREMIÈRE PHOTO D'UN TROU NOIR

Enfin, les astrophysiciens ont réussi à photographier un trou noir ! Dans leur visée, M87*, à 55 millions d'années-lumière de nous au cœur de la galaxie M87, de masse équivalente à 6,5 milliards de fois celle du Soleil. Pour photographier ce monstre, il a fallu, dès 2006, mettre en réseau 8 radiotélescopes répartis dans le monde afin d'obtenir l'équivalent d'un télescope virtuel aussi grand que la Terre. Puis en 2017, au cours de quatre jours de temps limpide, la photo a été prise. Mais il a fallu encore deux années pour rassembler les données et présenter cette image qui témoigne du trajet complexe de la lumière dans un champ de gravité si intense. Prochain sur la liste : SgrA*, le trou noir supermassif de la Voie lactée. **A. Kh.**
S. et A. n° 867.

SIPA

10 avril

DÉCOUVERTE D'UNE CINQUIÈME ESPÈCE HUMAINE

Après Neandertal, *Homo florensiensis* et Denisova, une nouvelle espèce contemporaine d'*Homo sapiens* est décrite par l'équipe franco-indonésienne de Florent Détroit, du musée de l'Homme de Paris. *Homo luzonensis* vivait il y a 50 000 ans à 67 000 ans sur l'île de Luzon, aux Philippines. Petites dents primitives, phalange de pied courbe : ces traits archaïques évoquent ceux des australopithèques, une incongruité à un âge si récent. On ignore encore comment et quand il a abordé l'îlot. **R. M.**
S. et A. n° 867, n° 871, n° 873.

SIPA

15 avril

UN INCENDIE RAVAGE NOTRE-DAME DE PARIS

Dans la soirée, les flammes emportent le toit en plomb, la charpente en chêne remontant au XIII^e^ siècle, la flèche érigée au XIX^e^ siècle et une partie des voûtes de la cathédrale. Les origines du sinistre font encore l'objet d'une enquête. Le chantier de reconstruction, censé durer cinq ans, peine à démarrer en raison d'une pollution aux résidus de plomb difficile à éradiquer. Le monde scientifique, lui, a d'ores et déjà lancé en parallèle plusieurs initiatives pour proposer des expertises et approfondir les connaissances de la cathédrale. **A. D.**
S. et A. n° 867, n° 868, n° 871, n° 872.

REA

28 juin

NOUVEAU RECORD DE CHALEUR EN FRANCE

Le 28 juin, la station climatologique de Vérargues, dans l'Hérault, affiche la température de 46 °C, la plus élevée jamais enregistrée en France. Ce record est établi lors d'un épisode de canicule, au cours duquel plusieurs villes endurent des températures supérieures à 40 °C. Le précédent record, 44,1 °C, avait été mesuré à Conqueyrac, dans le Gard, le 12 août 2003. Pour mémoire, le record mondial de 56,7 °C a été enregistré en 1913 à Furnace Creek, aux États-Unis. **S. R.**
S. et A. n° 871.

AFP

3 juillet

DES BÉBÉS GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉS

Un troisième bébé issu d'un embryon génétiquement modifié par CRISPR-Cas9 serait né en Chine selon le magazine *MIT Technology Review*, qui avait révélé le scandale des premières naissances en novembre 2018. Le biologiste chinois Jiankui He, à l'origine de cette expérimentation illégale, avait alors prévenu qu'une autre femme était enceinte d'un embryon censé être génétiquement immunisé contre le VIH. Arrêté et mis au silence par les autorités chinoises, Jiankui He n'a pas reparu depuis son annonce. Mais en Russie, un autre chercheur, Denis Rebrikov, annonce vouloir reproduire l'expérience : *« Je suis assez fou pour le faire »*. **H. J.**
S. et A. n° 872.

LA PLANÈTE BRÛLE

Les forêts du monde brûlent : 7900 km² en Amazonie (Brésil) de janvier à août, 1500 km² en Californie (États-Unis) à l'automne, plus de 2000 km² en Australie début novembre. Mais le record se situe en Sibérie avec 32 000 km² de taïga partis en fumée, soit la surface de la Belgique. Au Brésil, les feux sont en lien avec la déforestation. Ailleurs, ils sont le fruit d'une sécheresse exceptionnelle et de vents violents. L. C.

UNIVERSITY OF GLASGOW

12 juillet

UNE INTRICATION QUANTIQUE SAISIE SUR LE VIF

Jamais encore les physiciens n'avaient obtenu de photo d'une intrication quantique. Le principe de ce phénomène — le plus étrange de la physique et propre au monde des atomes et particules — : deux particules ayant interagi à un moment de leur existence peuvent former par la suite un seul et même système, en étant intriquées. En effectuant une mesure sur l'une, il devient ainsi possible de déduire l'état de l'autre. Sur la photo prise par Paul-Antoine Moreau et ses collègues de l'université de Glasgow (Royaume-Uni), les deux particules ne présentent aucun contact et forment pourtant un seul système. Un principe qui sera au cœur des futures communications quantiques. **A. Kh.**
S. et A. n° 871.

SIPA

4 août

PREMIÈRE TRAVERSÉE DE LA MANCHE EN FLYBOARD

L'ancien champion du monde français de jet-ski Franky Zapata traverse la Manche debout sur son Flyboard. La plate-forme auto-stabilisée est propulsée par cinq petites turbines alimentées par du kérosène. Le trajet de 35 km, effectué en un peu plus de 20 minutes, comprenait une étape de ravitaillement à mi-parcours sur un bateau. L'Agence de l'innovation de défense a accordé un financement de 1,3 million d'euros pour améliorer l'autonomie et réduire le bruit des turbines. **O. H.**
S. et A. n° 871, n° 872.

PHANIE

29 août

UNE CORNÉE RÉPARÉE PERMET À UNE AVEUGLE DE REVOIR

Une Japonaise devenue presque aveugle recouvre la vue grâce à des cellules souches pluripotentes induites (iPS) utilisées pour reconstituer sa cornée. Un mois après l'opération, son acuité visuelle était redevenue satisfaisante selon les chercheurs de l'université d'Osaka. Une première clinique pour cette technique de reprogrammation des cellules adultes pour les ramener à un état immature capable de produire n'importe quel tissu cellulaire. **H. J.**
S. et A. n° 872.

SIPA

22 sept.

L'EXPO TOUTANKHAMON BAT TOUS LES RECORDS

Avec 1 423 170 visiteurs, Toutankhamon, le Trésor du Pharaon présenté à la Villette à Paris a battu le record de fréquentation des expositions en France. Détrônant celle du Petit-Palais à Paris qui avait attiré 1 million de personnes en 1967. Présentés auparavant à Los Angeles (États-Unis), les 150 objets du pharaonique trésor se trouvent actuellement à la galerie Saatchi, à Londres, d'où ils poursuivront leur périple jusqu'à Sydney, en Australie. Après quelques escales, ce « grand tour » devrait s'achever en 2024, date à laquelle ces trésors rejoindront le Grand Musée égyptien (GEM), au Caire. **B. A.**
S. et A. n° 866.

SEBASTIEN L'HOTE

26 sept.

UN INCENDIE RAVAGE UNE USINE SEVESO À ROUEN

Plus de 9000 tonnes de produits chimiques brûlent dans l'incendie des installations de l'usine rouennaise Lubrizol, provoquant un panache de fumée de 22 km de long et 6 km de large. Les experts peinent à déterminer la nature du cocktail résultant de la combustion de plus de 3000 substances. Sols, air, eaux, résidus sont analysés à la recherche de substances présentant des risques sanitaires aigus, tandis que des habitants se plaignent de nausées et maux de tête. Les résultats seraient rassurants selon les autorités, qui — mises sous pression pour avoir très mal géré la communication de crise — lancent un suivi chronique de la population de 215 communes susceptible d'avoir été la plus exposée. **R. M.**
S. et A. n° 873.

LES ALARMES CLIMATIQUES NE CESSENT DE SONNER

Les alertes se multiplient ! Le 6 mai, un rapport de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (IPBES) établit qu'un million d'espèces vivantes risquent l'extinction. Le 8 août, le Giec décrit des terres érodées et désertifiées par le changement climatique. Le 2 septembre, un rapport démontre que la température et le niveau des océans montent dangereusement. C'est pourquoi, à l'ONU le 23 septembre, la jeune Suédoise Greta Thunberg admoneste les chefs d'État qui *« n'écoutent pas les scientifiques »*. L. C.

AFP

3 oct.

UN PARALYSÉ CONTRÔLE UN EXOSQUELETTE PAR LA PENSÉE

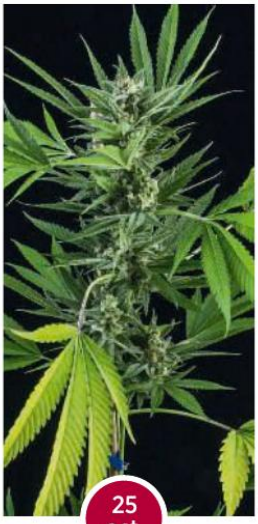
Un jeune Français tétraplégique de 28 ans a piloté les bras et les jambes d'un exosquelette (combinaison robotique) uniquement par la pensée, une première mondiale ! Cet exploit a été réalisé par l'équipe d'Alim-Louis Benabid, président du centre de recherche Clinatec (CEA) et professeur émérite à l'université Grenoble-Alpes. Deux neuroprothèses implantées sur le cerveau du patient enregistrent l'activité électrique du cortex, qui est traduite ensuite en commandes motrices pour l'exosquelette. Après deux années d'entraînement, le patient est parvenu à effectuer quelques pas et à actionner les bras dotés de poignets. **E. S.**
S. et A. n° 873.

AGEFOTOSTOCK

22 oct.

ALZHEIMER : LA PISTE AMYLOÏDE RELANCÉE

Surprise ! Après l'annonce de l'arrêt des recherches à la suite de premiers résultats décevants, l'aducanumab est remis sur les rails. Cet anticorps monoclonal, qui cible les plaques amyloïdes cérébrales en cause dans la maladie d'Alzheimer, semble en fait diminuer leur présence tout en atténuant le déclin cognitif des patients. Et ce à un stade précoce de la maladie. Des résultats qui, s'ils étaient confirmés, valideraient cette stratégie thérapeutique. Le 5 décembre, le laboratoire américain Biogen a annoncé qu'il demandait l'enregistrement de son candidat médicament auprès de la Food and Drug Administration comme traitement de la maladie. **E. S.**
S et A n° 874.



AFP

25 oct.

FEU VERT POUR LE CANNABIS THÉRAPEUTIQUE

L'Assemblée nationale donne son feu vert à une expérimentation du cannabis thérapeutique en France. Ce test d'une durée de deux ans concernera environ 3000 patients souffrant de douleurs neuropathiques, d'épilepsie, de pathologies du système nerveux central, mal soulagées par les traitements actuels. L'expérimentation concernera aussi des soins palliatifs en oncologie. Les patients se verront délivrer les produits dérivés du cannabis dans des centres hospitaliers. **H. J.**
S. et A. n° 874.

AFP

11 nov.

UN FORT SÉISME FAIT STOPPER UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

C'est le plus important séisme de ces 13 dernières années en France : la terre a tremblé dans le village du Teil, en Ardèche, à 5 km à l'ouest de Montélimar. De magnitude 5, il est survenu sur une branche de la faille des Cévennes. La centrale de Cruas, proche de l'épicentre, a été aussitôt arrêtée pour des vérifications de sûreté, une première. La remise en service complète des quatre réacteurs a été effectuée le 7 décembre. **A. Kh.**
S. et A. n° 870.

YALE UNIVERSITY

8 déc.

PASSAGE DE LA PREMIÈRE COMÈTE EXTRASOLAIRE

Une première dans l'histoire de l'astronomie : une comète interstellaire — qui vient d'un autre système stellaire que le nôtre — passe actuellement à proximité du Soleil *(lire p. 40)*. Débusquée en août 2019, la comète 2I/Borissov a atteint, le 8 décembre, son point le plus proche du Soleil, à 300 millions de kilomètres environ. C'est le moment où elle aura été la plus active et la plus lumineuse. Elle aura alors dévoilé le plus d'informations sur sa composition et le disque protoplanétaire dans lequel elle s'est formée. Les scientifiques disposent ainsi d'une opportunité unique de tester le caractère universel ou singulier du système solaire. **F. D.**
S. et A. n° 875.

LE RETOUR DE LA ROUGEOLE

Au premier trimestre, l'OMS a enregistré une augmentation de 300 % du nombre de cas de rougeole au niveau mondial. En cause : la défiance grandissante envers les vaccins dans les pays riches et un mauvais accès aux soins dans les pays pauvres. En Europe, le nombre de cas au premier semestre de l'année (89 994) était supérieur à celui enregistré sur l'ensemble de l'année 2018 (84 432 pour plus de 140 000 dans le monde). H. J.

Le trou noir supermassif au centre de notre galaxie expulsant l'étoile S5-HVS1 (vue d'artiste).

Notre trou noir a expulsé une étoile

L'étoile S5-HVS1 a été observée alors qu'elle filait à la vitesse record de 1800 km/s.

ASTRONOMIE Le mystère des étoiles « hypervéloces » est résolu ! Il s'agit d'astres en passe d'être éjectés de notre galaxie, la Voie lactée, à des vitesses pharamineuses. C'est le cas de l'étoile S5-HVS1 surprise, par le Télescope anglo-australien (AAT) situé à l'observatoire de Siding Spring, en Australie, alors qu'elle filait à la vitesse record d'environ 1800 km/s, soit 6,5 millions de km/h ! Les données du satellite européen Gaia montrent qu'il y a 4,8 millions d'années, S5-HVS1 est passée près du trou noir supermassif qui loge au centre de notre galaxie, SgrA* (Sagittarius A*). Elle faisait partie alors d'un système binaire — ce qui est le cas de la majorité des étoiles. Mais le gigantesque effet de marée du trou noir, dû à son champ gravitationnel intense, a séparé les deux compagnes, affirme l'équipe de Sergey Koposov, à l'université Carnegie Mellon (États-Unis) : l'une a fini par être avalée et l'autre sera éjectée de la Voie lactée. **A. Kh.**

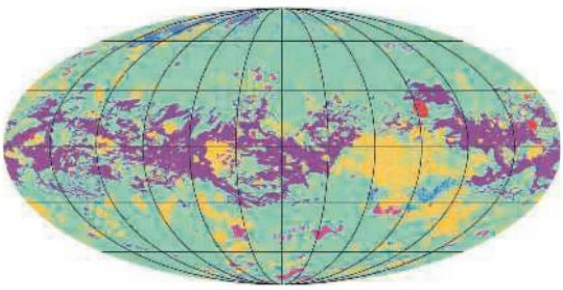
FURUKAWA

Des sucres dans les météorites

COSMOCHIMIE Des traces de sucres ont été détectées dans deux météorites riches en carbone, l'une tombée en Australie en 1969, l'autre au nord-ouest de l'Afrique en 2001. Ces molécules sont l'arabinose, le xylose et surtout le ribose qui constituent le squelette des macromolécules d'ARN. De quoi renforcer l'idée que les météorites auraient apporté sur Terre les briques élémentaires du vivant. **F. D.** SOURCE : YOSHIHIRO FURUKAWA, UNIVERSITÉ DU TOHOKU, JAPON.

Une combinaison anti-requin

MATÉRIAUX Pour protéger les baigneurs des requins, des chercheurs de l'université Flinders, en Australie, ont mis au point deux matériaux résistants *« à la perforation, aux lacérations et aux morsures »* dont on pourrait faire une combinaison de plongée. Des fibres de polyéthylène de masse moléculaire très élevée forment un matériau extrêmement résistant qui permettrait, en outre, de limiter les hémorragies en cas de morsure. **M. B.**



NASA/JPL-CALTECH/ASU

La surface de l'astre est surtout formée de plaines (vert), dunes (violet) et de zones accidentées (jaune).

Un planisphère de Titan

PLANÉTOLOGIE **Grâce aux données recueillies par la sonde Cassini, restée en orbite autour de Saturne de 2004 à 2017, une équipe de chercheurs a mis au point une carte géomorphologique de la plus grande lune de la planète aux anneaux. 120 survols ont permis de déterminer que les deux tiers de sa surface sont constitués de plaines peu élevées, 17 % de dunes sablonneuses ou encore que 1,5 % serait fait de cavités dues à la pluie et l'érosion. M. B.**

Un moteur pour les petits satellites

ESPACE C'est une révolution qui s'annonce dans le monde des nanosatellites ou CubeSat, grands d'à peine quelques dizaines de centimètres. Jusqu'ici dénués de systèmes de propulsion, ils pourraient bientôt devenir mobiles grâce à l'iode. ThrustMe, une start-up française, vient en effet de prouver que cet halogène était un carburant efficace avec un premier test concluant. **M. B.**

SCIAV.FR/875THRUSTME

D'étranges pics d'oxygène sur Mars

PLANÉTOLOGIE Après plusieurs années passées à renifler l'atmosphère martienne dans la région du cratère Gale, le rover Curiosity a fait une découverte inexpliquée. La concentration en dioxygène, présent à l'état de trace (0,15 % en moyenne), augmente subitement au printemps et en été. Cette molécule est produite par la photodissociation du dioxyde de carbone par les rayons ultraviolets du Soleil. Mais ce processus est beaucoup trop lent pour engendrer des variations saisonnières. **F. D.**

JAMES JOSEPHIDES/SWINBURN ASTRONOMY

3 Le nombre de trous noirs dans une galaxie

ASTRONOMIE Située à 300 millions d'années-lumière, la galaxie NGC 6240 compte pas moins de trois trous noirs supermassifs. Cette configuration unique pourrait expliquer la présence de galaxies massives au sein de l'Univers jeune : elles se seraient formées en un temps record par fusion de plusieurs petites galaxies, chacune comportant son trou noir. **A. Kh.**

SOURCE : W. KOLLATSCHNY, UNIVERSITÉ DE GÖTTINGEN, ALLEMAGNE.

HESS COLLABORATION

Le télescope HESS, en Namibie, participe à la traque des sursauts gamma.

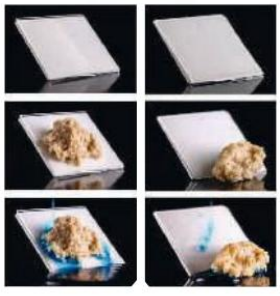
Des jets de photons ultraviolents

ASTROPHYSIQUE Deux sursauts gamma captés en 2018 et 2019 viennent de battre tous les records d'énergie : entre 100 et 440 milliards d'électronvolts ! Ces intenses jets de photons émettent autant d'énergie que le Soleil durant toute sa vie. Leur origine, longtemps restée mystérieuse, est désormais attribuée à deux phénomènes distincts : collisions d'étoiles à neutrons ou supernovae, explosions cataclysmiques d'étoiles en fin de vie. **M. B.**

SOURCE : H. ABDALLA, CENTRE FOR SPACE RESEARCH, NORTH-WEST UNIVERSITY, POTCHEFSTROOM, AFRIQUE DU SUD.

Un spray pour économiser l'eau des toilettes

Ce lubrifiant, qui s'applique sur des parois en céramique, permettrait d'économiser jusqu'à 90 % d'eau.



JING WANG ET AL./SHUTTERSTOCK

Le revêtement appliqué sur la cuvette donne une surface ultra-glissante sur laquelle les matières fécales ne peuvent adhérer *(à droite)*.

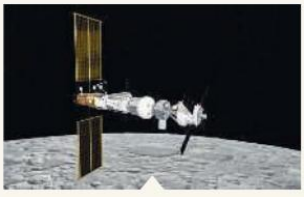
MATÉRIAUX Plus de 140 milliards de litres d'eau partent chaque jour dans les toilettes à travers le monde, à raison de 6 litres en moyenne par chasse d'eau. Or un revêtement permettrait d'en économiser 90 % selon des scientifiques du département de génie mécanique de l'université d'État de Pennsylvanie (États-Unis). LESS (*liquid entrenched smooth surface*) s'applique en moins de cinq minutes sur des parois en céramique. Un premier spray tapisse celles-ci d'un polymère de la famille des siloxanes, qui, en séchant, forme des enchevêtrements moléculaires un million de fois plus fins qu'un cheveu. Une seconde application recouvre ces poils nanoscopiques d'un lubrifiant composé notamment d'huile de silicone. On obtient ainsi une surface très glissante sur laquelle les matières fécales visco-élastiques et collantes n'ont quasi aucune chance d'adhérer. L'eau ne servant plus au nettoyage de la cuvette mais seulement à l'évacuation des selles, de toutes petites quantités de liquide suffisent. **F. D.**

Les nouvelles ambitions de l'Esa

ESPACE C'est un budget record de 14,4 milliards d'euros sur trois à cinq ans qu'a obtenu l'Agence spatiale européenne à Séville, en Espagne, le 28 novembre. Une part importante sera consacrée au lanceur Ariane 6 qui doit prendre le relais d'Ariane 5 à partir du second semestre 2020. Vont également être développés : la mini-navette Space Rider, destinée aux expériences scientifiques en orbite, des modules de transport et d'habitation pour Gateway (future station en orbite autour de la Lune) et la mission de retour d'échantillons martiens Exomars. **S. R.**

Ariane 6 succédera à Ariane 5 au second semestre 2020.

Space Rider, mini-navette pour expériences en orbite.



Gateway, station orbitale lunaire.

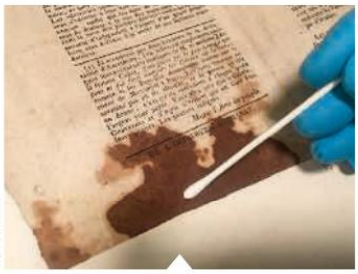
PHOTOS : ESA

Exomars, mission de collecte d'échantillons martiens.

L'analyse du sang révèle les maladies de Marat

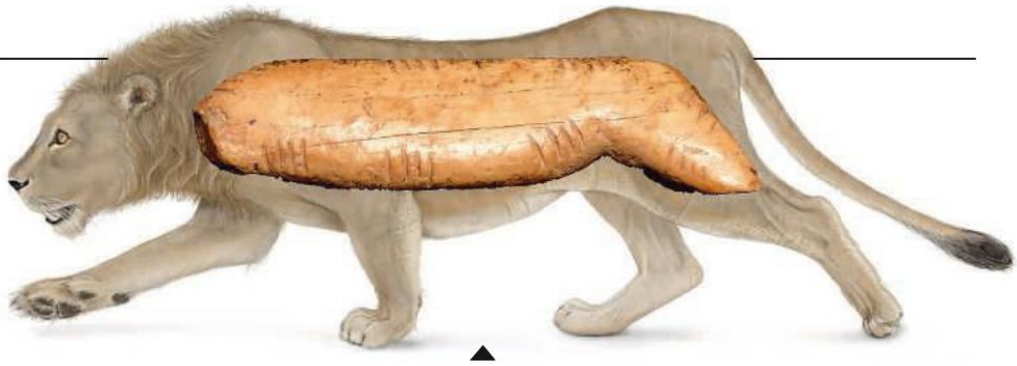
PALÉOPATHOLOGIE Assassiné dans sa baignoire en 1793, Marat a laissé une tache de sang sur une page du journal qu'il était en train de lire. Son étude génétique apporte des informations sur les maladies du tribun révolutionnaire. Aucune de celles qui lui sont généralement attribuées (gale, syphilis, lèpre, tuberculose, etc.) n'a été identifiée. En revanche un champignon, responsable de la dermatite séborrhéique surinfectée, et un staphylocoque doré ont été retrouvés. **B. A.**

SOURCE : TONI DE-DIOS, INSTITUT DE BIOLOGIE DE L'ÉVOLUTION, BARCELONE, ESPAGNE.



TONI DE-DIOS

Le sang de Marat a été recueilli sur une page de son journal.



Taillée dans l'ivoire de mammouth, la sculpture représente le félin en mouvement (photo-montage).

La plus ancienne figurine animale

Ce fragment de sculpture représentant un lion des cavernes a été découvert dans la grotte de Denisova, en Sibérie.

PRÉHISTOIRE Un poitrail à la robe ornée de hachures colorées à l'ocre rouge, la courbe d'un puissant jarret… C'est un exceptionnel fragment de sculpture représentant un lion des cavernes (*Panthera spelaea*) daté de -45 000 ans que des préhistoriens viennent d'exhumer dans la grotte de Denisova, en Sibérie. Taillée dans de l'ivoire de mammouth, la délicate miniature de 4,2 cm de long pour 8 mm d'épaisseur a été mise au jour dans le nord de l'Altaï par des équipes de l'Institut d'archéologie et d'ethnographie de Novossibirsk (Russie). La grotte est célèbre depuis la découverte en 2010 d'une phalange fossile d'une espèce humaine jusque-là inconnue, baptisée l'homme de Denisova. Mais il est difficile pour l'heure de savoir à qui attribuer cette œuvre : le félin a-t-il été façonné par des dénisoviens ou des *sapiens* ? Si sa datation est confirmée, le lion de Denisova serait en tout cas la plus ancienne figuration animale connue à ce jour. **B. A.**

SIBERIAN TIMES

IL A DIT

« Nous montrons pour la première fois qu'il existe une relation claire entre la consanguinité et l'apparence physique des Habsbourg »

Roman Vilas, chercheur à l'université de Saint-Jacques-de-Compostelle (Espagne), qui a établi que la mâchoire en avant et le nez pointant vers le bas caractéristiques des membres de la dynastie des Habsbourg d'Espagne, aux XVIe et XVIIe siècles, sont indissociables d'une consanguinité qui pouvait atteindre les 25 %.

Des messages de l'empire romain de 2000 ans

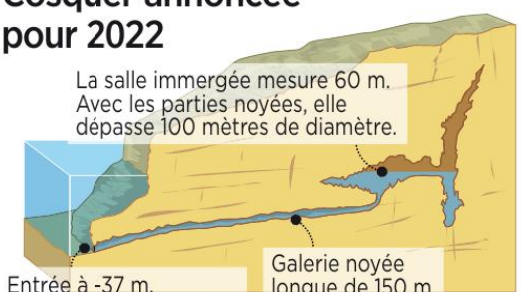
ANTIQUITÉ Andangius sollicitant un allègement de service, Caecilius Secundus déposant plainte contre *« les explosions de colère »* de Decuminus… De nouvelles traductions des plaquettes en bois retrouvées dans le fort de Vindolanda (Ier-Ve siècle), au Royaume-Uni, continuent de révéler le quotidien des légionnaires aux limites de l'empire. **B. A.**

SOURCE : A. K. BOWMAN, UNIVERSITÉ D'OXFORD, ROYAUME-UNI.

VINDOLANDA TRUST

Sur cette plaquette, Masculus recommande « une permission pour cinq soldats ».

Une réplique de la grotte Cosquer annoncée pour 2022



BRUNO BOURGEOIS

La montée de la Méditerranée menace de noyer la cavité.

ART PARIÉTAL Une reconstitution de la grotte Cosquer et de ses exceptionnelles peintures préhistoriques de -18 000 à -27 000 ans mises au jour sur le littoral marseillais sera présentée dès 2022 dans le cadre de la Villa Méditerranée, un vaste bâtiment situé près du Vieux-Port, à Marseille (Bouches-du-Rhône). Les œuvres de la cavité sous-marine, qui fait actuellement l'objet d'un relevé 3D, sont menacées par le réchauffement climatique et la montée progressive du niveau de la mer. **B. A.**

ÉVÉNEMENT 2020
EXPOSITION UNIVERSELLE DUBAI

Sciences et Avenir vous convie à une croisière unique, à l'occasion de l'exposition universelle de 2020 à Dubai.

L'événement promet en effet d'être sans précédent, et pas seulement parce qu'il s'agit d'une première dans la région Moyen-Orient, Afrique, où 180 pays se retrouveront ainsi rassemblés. Son thème, qui appelle à **« Construire le futur »** est en parfaite résonance avec la ligne éditoriale de Sciences et Avenir. Il projette en effet dans l'avenir, avec toutes les interrogations majeures du présent : quelles sciences (climatologie, génétique, intelligence artificielle...) pour assurer une économie et une société durables ? Quelles nouvelles technologies pour la mobilité, entre avions, fusées mais aussi trottinettes ! Quelles opportunités nouvelles voyons-nous surgir ? Notre futur promet d'être, en effet, celui que nous voulons bâtir, fort de nos héritages, mais aussi en phase avec la modernité. Ici, l'invitation à « connecter les esprits ». Ces promesses d'avancées, nous les analyserons avec des scientifiques, des économistes, des spécialistes de géopolitique et de nouvelles technologies, de très haut niveau. Et ce, lors d'une croisière étonnante, faisant étape à Dubai et au Pavillon Français de l'Exposition Universelle, mais aussi à Abu Dhabi et son musée du Louvre, construit par l'architecte Jean Nouvel, ou encore en visitant la Rose des Sables, musée du Qatar à Doha... Des découvertes et des rencontres passionnantes en perspective.

Dr Dominique LEGLU
Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir

AVEC VOUS À BORD !
Les conférenciers

Mikaa MERED
Professeur de géopolitique, observateur et analyste des Emirats Arabes, spécialiste des pôles et de l'hydrogène.

Marie-Christine de WARENGHIEN
Incontournable pour les architectours à Dubai & Abu Dhabi.

Graph. www.pascalvere.com - Crédits photos. Reuters/CCO - Expo 2020 Dubai

SCIENCES ET AVENIR

Challenges

CROISIÈRE
LA MAGIE DES EMIRATS

10 JOURS / 7 NUITS
DU 12 AU 21 NOV. 2020
A BORD DU COSTA DIADEMA

- 1 JOUR À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE DUBAI
- ENTRÉES FAST TRACK
- VISITE DU PAVILLON FRANÇAIS
  Conférence et cocktail dînatoire (sous réserve de confirmation)
- EXCLUSIVITÉ : L'ARCHITECTOURS À DUBAI ET ABU DHABI.
  Présence de votre spécialiste Marie-Christine de WARENGHIEN
- VISITE GUIDÉE MUSÉE DU LOUVRE ABU DHABI
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA MOSQUÉE D'ABU DHABI,
  assistez au coucher du soleil, illuminations le soir
- VISITE DU PALAIS PRÉSIDENTIEL À ABU DHABI
- VISITE DU MUSÉE LA ROSE DES VENTS À DOHA
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA BURJ EL KHALIFA
  LA TOUR LA PLUS HAUTE DU MONDE À DUBAI
- BOISSONS À TABLE INCLUSES ET FORFAIT SÉJOUR À BORD

À PARTIR DE
2 750 €/PERS.
Au départ de Paris - En tout inclus

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :
BLEU VOYAGES
213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON
TÉL. 04 72 76 75 66
www.challenges2020.fr

Selectour Bleu Voyages Costa

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 € • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.

Une nouvelle vénus paléolithique découverte à Amiens

PRÉHISTOIRE 23 000 ans après avoir été façonnée dans un bloc de craie, une vénus aux fesses, cuisses et seins hypertrophiés a été découverte à Renoncourt (Somme) par des chercheurs de l'Inrap. Haute de 4 cm et coiffée d'une « résille » faite de fines incisions, elle pourrait provenir d'un « atelier », car retrouvée au milieu de milliers de probables déchets de fabrication. **B. A.**

S. LANCELOT, INRAP

La vénus est coiffée d'une résille comme la célèbre Dame de Brassempouy.

143

Le nombre de nouvelles figures géantes identifiées à Nazca

ARCHÉOLOGIE Personnages emplumés, serpents, oiseaux… Des scientifiques de l'université de Yamagata (Japon) ont identifié de nouveaux géoglyphes dans les régions arides de Nazca et Jumana, à 400 km au sud de Lima, au Pérou. Des œuvres révélées grâce à un laser scanner 3D et à l'apport de technologies d'intelligence artificielle (IA) du centre de recherche IBM au Japon. **B. A.**

SAMO ABDALLAH/DPA/AFP

Deux lionceaux reposaient aux côtés de grands félins, léopards ou guépards.

L'IMAGE

Des momies animales à Saqqarah

ÉGYPTOLOGIE Un vrai musée ! Deux lionceaux momifiés ont été mis au jour pour la première fois près du Caire (Égypte) en compagnie d'une centaine de statues de chats et de nombreuses momies de crocodiles, ou même de scarabées ! La tombe, datée du VII[e] siècle avant J.-C., était située dans la nécropole de Saqqarah, près du Caire. Non encore identifiés, trois grands félins retrouvés à proximité pourraient être des léopards ou guépards. Les statues exhumées sont en pierre, bois et bronze, certaines incrustées d'or. **B. A.**

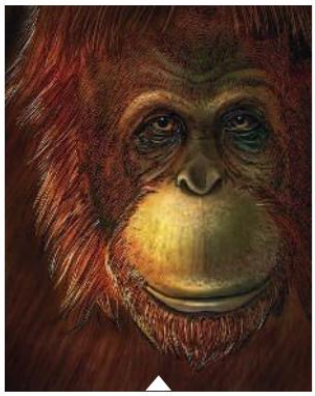
À la recherche du corps de Montaigne

Les scientifiques ont procédé à l'ouverture du tombeau supposé du philosophe à Bordeaux. Une découverte inattendue a stoppé temporairement les recherches.

PATRIMOINE C'est un cercueil en plomb qui a suspendu les opérations d'identification de la dépouille de Montaigne. Sous la direction d'Hélène Réveillas, du Centre d'archéologie préventive (CAP) de Bordeaux Métropole, des scientifiques ont procédé en novembre dernier à l'ouverture du tombeau supposé du célèbre philosophe du XVI[e] siècle, retrouvé dans les sous-sols du musée d'Aquitaine à Bordeaux (*lire* S. et A. *n° 873*). Ils en ont extrait un cercueil en chêne, parfaitement conservé, sur lequel est inscrit le nom de celui qui fut deux fois maire de la ville. Mais c'est en ouvrant celui-ci, daté du XIX[e] siècle — époque de la ré-inhumation de la dépouille — qu'est apparu un sarcophage en plomb endommagé. En y introduisant une caméra endoscopique, les chercheurs ont décelé des ossements, dont un fémur et un crâne. Son ouverture devrait avoir lieu en début d'année. Des prélèvements ADN seront alors effectués. Le faisceau d'indices se resserre cependant en faveur de l'identification de Montaigne, notamment la taille du cercueil, *« un peu en dessous de la moyenne »* comme se décrivait le philosophe. **C. C.**

L. GAUTHIER/MAIRIE DE BORDEAUX/AFP

Le cercueil en chêne, intact, en cachait un second en plomb, endommagé.



STUDIO KAYAMA LLC

Gigantopithecus blacki était apparenté aux orangs-outangs.

Gigantopithèque, fin du mystère

PRIMATOLOGIE L'énorme animal, qui aurait vécu en Asie jusque vers -300 000 ans et pouvait dépasser 2 m pour 500 kg, était bien apparenté aux orangs-outangs. Depuis la découverte d'une première dent en 1935, les spécialistes hésitaient entre cette hypothèse et une proximité avec les gorilles. L'analyse des protéines d'une dent vieille de 2 millions d'années a tranché. **R. M.**

SOURCE : FRIDO WELKER, UNIVERSITÉ DE COPENHAGUE, DANEMARK.

© David Franklin - stock.adobe.com - Conception Y.I.R - 07 66 82 30 05

VOTRE PARENT EST UNIQUE !

De la même manière que les symptômes et la personnalité de votre proche lui sont particuliers, aucune structure dotée d'une unité Alzheimer ne ressemble à une autre. Se montrer vigilant concernant ses besoins sur le plan médical, affectif et émotionnel est primordial. C'est pourquoi Assistance Retraite vous apporte son expérience et sa parfaite connaissance des établissements de soins, afin de trouver le lieu d'accueil sur-mesure pour votre proche. Une prise en soins adaptée dans un environnement bien choisi contribuera à des progrès notoires chez certaines personnes.

POUR TOUTE RECHERCHE DE MAISONS MÉDICALISÉES OU RÉSIDENCES AUTONOMIE

LAURE : 01 82 52 31 08 / **URGENCE :** 07 56 90 30 09

WWW.DEMANDE-PRIORITAIRE.FR

assistance retraite

www.assistance-retraite.net
Service gratuit conforme au RGPD

36 Le nombre de produits à base de glyphosate retirés de la vente en France

AGRICULTURE L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) n'a pas renouvelé les autorisations de mélanges représentant trois quarts des tonnages de pesticides à base de glyphosate vendus en France. *« Ils ne pourront plus être utilisés à compter de fin 2020, en raison de l'insuffisance ou de l'absence de données scientifiques permettant d'écarter tout risque génotoxique. »* **R. M.**

Une nouvelle forêt en Île-de-France

PHOTOS : LANDACT/SMAPP

Les 1350 ha de champs ayant servi à l'épandage des eaux usées à Pierrelaye-Bessancourt (Yvelines) vont être boisés.

SYLVICULTURE Le conseil régional d'Île-de-France a décidé de créer *ex nihilo* une forêt sur la plaine de Pierrelaye-Bessancourt (Yvelines). 1350 hectares d'arbres vont remplacer les champs actuels. Ces terrains ont servi pendant des décennies à l'épandage des eaux usées de Paris et sont donc inaptes à la production alimentaire. La région entend également lutter contre les dépôts sauvages de déchets du bâtiment. **L. C.**

J.C. MOSCHETTI/REA

Le renforcement des vents a permis à l'éolien d'augmenter sa productivité de 17 % en 10 ans.

Les vents soufflent de plus en plus fort

En cause : un changement du positionnement des zones d'affrontement entre masses atmosphériques tropicales et polaires.

CLIMATOLOGIE Les vents ont soufflé de moins en moins fort entre 1980 à 2010, mais depuis, ils ont repris de la vigueur. Tel est l'enseignement de deux études publiées à près de dix ans d'intervalle. En 2010, le chercheur français Robert Vautard, du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, publie un article qui affirme que, sur l'ensemble du globe, les vents sont passés de 3,4 à 3,15 mètres par seconde (m/s) en trois décennies. Selon le scientifique, la première raison est la végétation qui augmente la rugosité de la surface terrestre et ralentit les courants atmosphériques. Mais la nouvelle étude vient de détruire cette hypothèse. En huit ans, les vents sont revenus à 3,4 m/s alors que la végétation a continué de pousser. Seule explication possible : un changement du positionnement des zones d'affrontement entre masses atmosphériques tropicales et polaires, qui varie à l'échelle décennale. Ce renforcement des vents est une bonne nouvelle pour l'éolien. La productivité de cette énergie a augmenté de 17 % lors de la dernière décennie. **L. C.**

Les secrets du ver du diable percés

ZOOLOGIE Le génome du « ver du diable », *Halicephalobus mephisto*, le premier organisme pluricellulaire à avoir été découvert dans les profondeurs de la croûte terrestre, révèle comment l'animal peut survivre dans un environnement pauvre en oxygène et à des températures élevées. Il possède en particulier deux gènes très importants : l'un permet de restaurer les cellules endommagées par de trop fortes chaleurs et l'autre facilite la survie cellulaire. **A.-S. T.**

SOURCE : DEBORAH WEINSTEIN, AMERICAN UNIVERSITY, WASHINGTON, ÉTATS-UNIS.

J. BRACHT/AMERICAN UNIVERSITY

« Halicephalobus mephisto » vit dans les profondeurs de la Terre.

EN DEUX MOTS

CHIMÈRES. Des scientifiques de l'Académie chinoise des sciences sont parvenus pour la première fois à mener à terme la gestation d'une truie dont deux porcelets étaient partiellement constitués de cellules de singe. **RÉCHAUFFEMENT** Loin de diminuer, les émissions de CO_2 auront augmenté de 0,9 % en 2019 selon le bilan du Global Carbon Project. **PAC.** 2500 scientifiques ont écrit au Parlement européen pour demander une réforme de la politique agricole commune (PAC), privilégiant une agriculture diversifiée dans des exploitations plus petites.

Des fourmis cannibales bloquées dans un bunker

ENTOMOLOGIE Une colonie de fourmis a survécu durant des années enfermée dans un ancien bunker soviétique situé dans l'ouest de la Pologne. Les insectes ont été piégés après être tombés dans une colonne de ventilation. Pour se nourrir, ils consommaient le corps de leurs congénères morts, a révélé une équipe de chercheurs polonais — un comportement déjà observé dans des situations extrêmes. **A.-S. T.**

SOURCE : TOMASZ RUTKOWSKI, UNIVERSITÉ ADAM MICKIEWICZ, POZNAN, POLOGNE.

PHOTOS: BIOSPHOTO-WOJCIECH STEPHAN

Les insectes ont survécu en se nourrissant des cadavres de leurs congénères.

Le chant du mâle tungara est capté par des moucherons suceurs de sang.

Une grenouille amoureuse appelle ses prédateurs

HERPÉTOLOGIE Chez les grenouilles tungara d'Amérique du Sud, les mâles les plus attractifs sont aussi les plus menacés. Au cours d'une coévolution millénaire, leurs pires prédateurs, des moucherons suceurs de sang porteurs de parasites souvent mortels, ont en effet appris à capter la fréquence des chants amoureux les plus complexes de l'espèce. Ces appels à double tranchant participent à la disparition de ces amphibiens. **R. M.**

SOURCE : H. LEGETT, UNIVERSITÉ PURDUE, WEST LAFAYETTE, ÉTATS-UNIS.

NATURE PL/EBPHOTO

CALTECHW

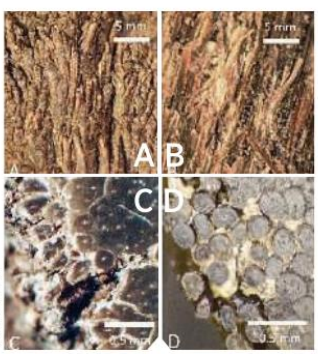
Les abeilles savent aussi nager

ENTOMOLOGIE Même si l'eau colle ses ailes et l'empêche de s'envoler, l'abeille européenne peut se servir de sa force de propulsion pour nager vers l'avant. Elle peut ainsi « surfer » vers un lieu sûr, comme la rive d'un plan d'eau. Les chercheurs estiment que l'insecte peut nager ainsi pendant environ dix minutes avant de s'épuiser. **A.-S. T.**

SOURCE : CHRIS ROH, CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, PASADENA, ÉTATS-UNIS.

Une fausse corne de rhinocéros pour tromper les trafiquants

BIODIVERSITÉ Pour saper le marché illégal des cornes de rhinocéros — dont le cours oscille entre 40 000 et 50 000 euros en Chine —, des chercheurs de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) ont créé une corne artificielle avec du crin de cheval collé à une matrice de soie. La différence est quasi indétectable à l'œil nu. Reste à trouver des candidats pour une production à grande échelle. **A.-S. T.**



RUIXIN-MI ET AL

Coupe transversale d'une vraie corne de rhinocéros (A, C) et d'une corne artificielle (B, D).

Les perroquets gaspillent... pour de très bonnes raisons

En arrachant de l'arbre certains fruits sans tous les consommer, ils laissent croître les plus mûrs, permettant aussi à d'autres espèces animales de se nourrir.

ÉTHOLOGIE Les êtres humains n'ont pas l'exclusivité du gaspillage alimentaire ! Les perroquets le pratiquent assidûment eux aussi. C'est ce que vient de conclure une équipe espagnole d'ornithologues après avoir observé pendant plusieurs années les comportements alimentaires de pas moins de 103 espèces de perroquets dans 17 pays. Les oiseaux entament souvent plusieurs fruits sans les finir. Dans certains cas, plus de 80 % de la nourriture à leur disposition est ainsi gaspillée ! Les scientifiques ont néanmoins établi que cet étrange comportement leur profite. En arrachant de l'arbre certains fruits, ils laissent davantage de place et donc de lumière aux autres. À l'arrivée, ils obtiendront un plus grand nombre de gros fruits mûrs et sucrés.

Et ce n'est pas tout : les fruits jetés au sol sont consommés par des animaux qui n'auraient pas pu les atteindre tout seuls. Ceux-ci vont alors disperser les graines dans leur environnement et quelques-unes finiront par germer ailleurs... ce qui donnera de nouvelles sources de nourriture aux perroquets. **H. C.**

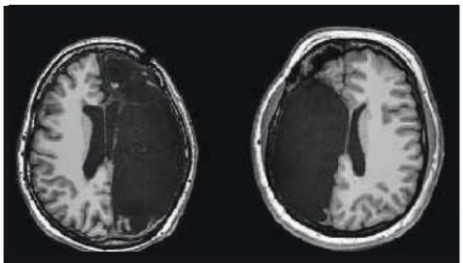
S.WIDSTRAND/NATURE PL/EBPHOTO

Le comportement alimentaire du perroquet a un impact positif sur l'écosystème.

Vivre normalement avec un demi-cerveau

L'ablation d'un hémisphère cérébral chez six enfants atteints d'épilepsie sévère n'a pas affecté leurs capacités cérébrales une fois adultes.

NEUROLOGIE L'ablation d'une moitié du cerveau n'empêche pas de vivre normalement. C'est ce que révèle une étude sur six personnes de 20 à 31 ans menée par des chercheurs du California Institute of Technology (États-Unis). Toutes avaient été opérées enfants (entre 3 mois et 11 ans) pour soigner une épilepsie résistante à tout traitement médicamenteux. Depuis, elles vivent avec un seul hémisphère. Et, leurs fonctions motrices et cognitives sont identiques à celles de témoins n'ayant pas subi l'opération. Pour expliquer cela, les chercheurs ont réalisé des IRM du cerveau. Ils ont alors découvert que, dans l'hémisphère subsistant, les connexions entre les neurones de 7 réseaux étaient plus nombreuses que dans un cerveau « entier ». Leur conclusion : la plasticité cérébrale importante à l'âge auquel les patients avaient été opérés a permis au seul hémisphère de compenser la suppression de l'autre moitié du cerveau pour assurer toutes ses fonctions. **H. C.**



CALTECH BRAIN IMAGING CENTER

IRM du cerveau de deux patients adultes ayant subi une hémisphérectomie dans l'enfance.

EN DEUX MOTS

MANIPULATIONS GÉNÉTIQUES. Les jumelles chinoises nées en 2019 avec une modification génétique induite par CRISP-Cas9 présenteraient des mutations indésirables *(lire p. 11)*. **CANCER.** Début 2020, des chercheurs australiens enverront des cellules cancéreuses sur l'ISS pour confirmer l'hypothèse qu'elles se désactivent en microgravité. **HÉPATITE ALCOOLIQUE.** Abondante chez les alcooliques, la bactérie *Enterococcus faecalis* produit parfois une toxine associée dans ce cas à un décès rapide dans 9 cas sur 10 selon des médecins californiens.

VOISIN/PHANIE

Chez le nourrisson, cette pratique n'a pas apporté la preuve de son efficacité.

La kiné respiratoire n'est plus recommandée contre la bronchiolite

PNEUMOLOGIE La kinésithérapie respiratoire n'est plus recommandée dans le traitement de la bronchiolite du nourrisson (avant 12 mois). Ces séances impressionnantes de manipulation des bébés, largement pratiquées en France, sont destinées à dégager les voies respiratoires. Mais selon la Haute Autorité de santé, les études n'ont pas apporté de preuve de leur efficacité. Réponse des kinésithérapeutes : le but n'est pas de guérir plus vite mais de réduire les symptômes. **H. J.**

La sécurité du vaccin Gardasil confirmée

INFECTIOLOGIE **Deux études de grande ampleur publiées dans la revue *Pediatrics* confirment la sécurité du Gardasil 9. Ce vaccin contre le papillomavirus humain (HPV) protège des infections sexuellement transmissibles à l'origine de nombreux cancers, du col de l'utérus notamment. Sur les près de 29 millions de doses passées au crible, moins de 8000 cas d'effets indésirables ont été rapportés, non sévères pour 97 % d'entre eux.** **H. J.**

L'œil de Lascar

CET ARRÊTÉ SURRÉALISTE a été pris par la maire de La Gresle (Loire) pour dénoncer la pénurie de médecins. L'édile entend ainsi médiatiser *« une situation sanitaire catastrophique »* dans sa commune. **O. L.**

ELLE A DIT

« Le hoquet pourrait être un vestige de l'enfance, car chez le nouveau-né ce réflexe et les contractions musculaires associées apportent au cerveau des informations sensorielles importantes pour son développement. »

Kimberley Whitehead, University College de Londres, Royaume-Uni.

Le secret des supercentenaires

LONGÉVITÉ Peu de personnes parviennent à vivre au-delà de 110 ans et un secret de ces rares « supercentenaires » vient peut-être d'être débusqué par des scientifiques japonais de l'institut Riken (Yokohama). Il se cacherait dans un système immunitaire bien plus performant que celui de la population générale. Ces chanceux se révèlent avoir des lymphocytes T cytotoxiques en plus grand nombre, les protégeant plus efficacement des infections virales et tumeurs. **H. R.**

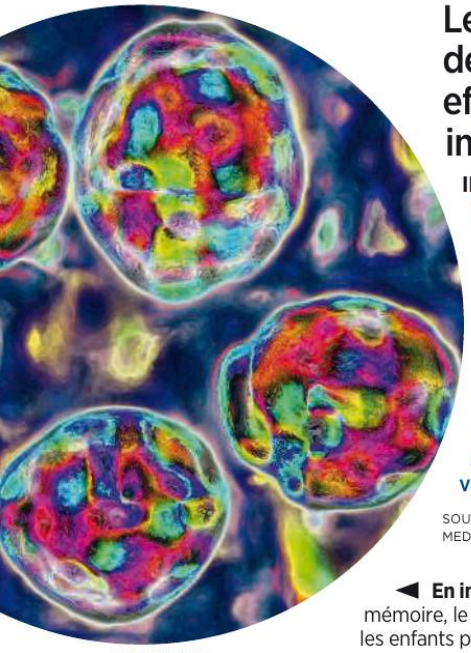
AFP

La doyenne de l'humanité, Kane Tanaka, née le 2 janvier 1903.

Le virus de la rougeole efface la mémoire immunitaire

IMMUNOLOGIE **Le virus de la rougeole met temporairement à plat les principales défenses immunitaires. En infectant une variété de lymphocytes B et T dits mémoire, il supprime le souvenir immunitaire et rend les enfants plus sensibles aux autres infections dans les semaines suivant son passage. Le vaccin, lui, n'a pas cet effet. P. K.**

SOURCE : MICHAEL MINA, HOWARD HUGHES MEDICAL INSTITUTE, BOSTON, ÉTATS-UNIS.



J.CAVALLINI/BSIP

◄ **En infectant** des lymphocytes dits mémoire, le virus (ici vu au microscope) rend les enfants plus sensibles à d'autres infections.

SELECTION D'HIVER
www.lesproduitsdumois.com

GÉREZ le STRESS et BOOSTEZ votre ÉNERGIE !

Un sachet de **D-Stress Booster®** contient 200 mg de magnésium, de la Taurine, de l'arginine et des vitamines B pour vous apporter vitalité et sérénité au quotidien !

Le Magnésium et vitamines B2, B3, B5, B6, contribuent au métabolisme énergétique et à réduire la fatigue.

D-Stress Booster® votre allié contre le stress et la fatigue !

Le magnésium est un minéral indispensable au fonctionnement de l'organisme, il est important d'en consommer chaque jour en quantité suffisante. Or, près d'un quart des femmes et un homme sur cinq ont un apport en magnésium insuffisant et sont carencés !

■ D-Stress Booster® agit rapidement et sans accoutumance. Prendre 1 sachet par jour, dilué dans un verre d'eau au petit-déjeuner. En pharmacie, env. 17€, boîte 20 sachets, ACL 5136879 ou commandez sur www.synergiashop.com avec les offres spéciales. Laboratoire Synergia. Infos et commandes en appelant le 04 77 42 30 10.

Perte de CONCENTRATION et de MÉMOIRE ?

VOUS ARRIVE-T-IL DE PERDRE DE VUE L'ESSENTIEL LORSQUE VOUS ÊTES PRESSÉ(E)? D'AVOIR DES DIFFICULTÉS À VOUS CONCENTRER ?

Les comprimés naturels **Cerveau Clair** apportent en quelques heures des vitamines et des nutriments essentiels aux zones de la concentration et de la mémoire du cerveau. Ils contiennent de la L-théanine issue du Thé vert, des extraits de Grenade, de Pin maritime et de Noix, ainsi que des Vitamines B et de l'Iode, dont l'efficacité pour **améliorer les performances mentales et les fonctions cognitives** (mémoire, attention, concentration) a été démontrée dans de nombreuses études scientifiques. Ils protègent également le cerveau du vieillissement et réduisent la fatigue.

Cerveau Clair tonifie et revitalise votre cerveau pour vous aider à garder les idées claires !

■ Boite de 60 cp. En pharmacie - ACL 2951863 - Convient aux jeunes et aux moins jeunes, aux végétariens et aux végétaliens - Non testé sur les animaux. Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 40 41 06 38 (tarif local) - www.vitalco.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Une batterie transparente comme du verre

Ce dispositif pourrait équiper des lunettes ou des lentilles de contact connectées.

NTT DATA

Des matériaux absorbant très peu la lumière lui donnent l'aspect d'une vitre.

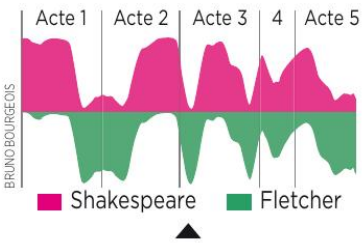
ÉNERGIE Voici une batterie si transparente qu'elle irait jusqu'à se confondre avec du verre ! L'exploit est à mettre au crédit du géant japonais des télécoms NTT, qui l'a présentée lors de son sommet de l'innovation organisé à Tokyo en novembre dernier. Pour l'instant, cette batterie, fabriquée uniquement à partir de matériaux absorbant très peu la lumière, a hélas ! un rendement minimal : l'équivalent de 1 milliampère heure (mAh). À titre de comparaison, une simple pile AA a une capacité dépassant bien souvent les 1200 mAh. En somme, elle ne peut alimenter qu'une LED ou une horloge numérique. Mais ce prototype, appelé à progresser, n'en est pas moins une bonne piste pour équiper à terme toutes sortes d'appareils au design épuré comme des lunettes voire des lentilles de contact connectées. **M. B.**

0,3 mm Le plus petit personnage du monde

P. PLECHACET AL

ANIMATION Il a été fabriqué en résine par impression 3D pour Stardust Odyssey, un court-métrage d'animation image par image. À cette taille, impossible de manipuler le personnage pour en modifier les postures. Le réalisateur, qui a collaboré avec l'institut FEMTO-ST de Besançon, en a donc fait créer plusieurs centaines dans des poses différentes. Le tournage a été effectué à l'aide d'un microscope à balayage électronique. **A. D.** sciav.fr/875stardust

Un algorithme analyse Shakespeare



BRUNO BOURGEOIS

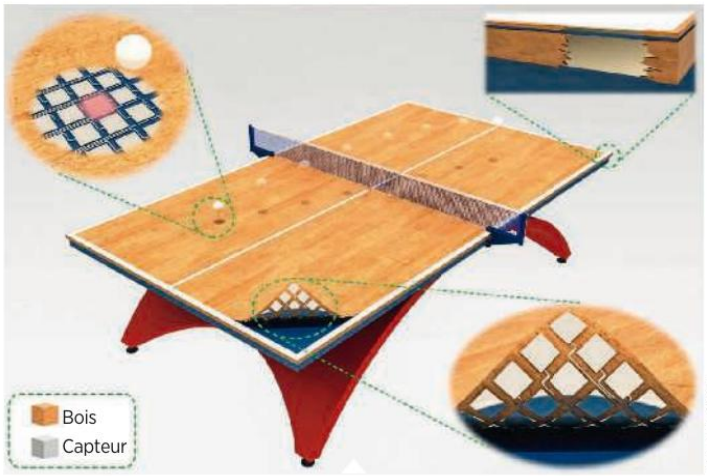
La répartition des contributions des deux auteurs de *Henry VIIII*.

INTERTEXTE *Henry VIII*, pièce signée William Shakespeare, est bien le fruit d'une collaboration avec John Fletcher. Un chercheur tchèque l'a confirmé en entraînant un algorithme sur des pièces des deux auteurs, en particulier sur les 500 mots les plus fréquents et les accentuations de fins de vers. Il a ainsi pu trouver à la ligne près les interventions de chacun. **A. D.**

SOURCE : PETR PLECHAC, INSTITUT DE LITTÉRATURE TCHÈQUE, ACADÉMIE DES SCIENCES, RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

Un capteur pour suivre les balles de ping-pong

JEU Voici la première table de ping-pong « intelligente ». Développée par des chercheurs chinois et américains, elle dispose d'un capteur, autoalimenté, placé juste sous la surface du plateau. Il localise le rebond de la balle en temps réel et détermine sa vitesse, ce qui permet de déduire les trajectoires pendant le jeu. **O. H.**



JIAN JUN LUO ET AL

Le capteur s'étend sous la fine couche de bois qui recouvre la table.

MIT NEWS

La machine est composée de maillons articulés.

Un robot flexible et rétractable

Quoi : une machine extensible composée de maillons articulés pouvant se bloquer afin de figer le robot dans la position voulue.

Comment : fabriqué en plastique par impression 3D.

Pourquoi : servir de support à une caméra, un accessoire ou outil quelconque dans un espace inaccessible à un bras humain, tout en limitant l'encombrement en mode rétracté.

Qui : des chercheurs en génie mécanique du Massachusetts Institute of Technology à Cambridge (États-Unis) **A. D.**

Tesla se lance dans le pick-up

AUTOMOBILE Avec son Cybertruck, le constructeur de voitures électriques Tesla s'attaque au premier marché automobile américain : celui des pick-up. Et mise sur la démesure avec un modèle à trois moteurs électriques capables de tracter 6 tonnes comme de passer de 0 à 100 km/h en moins de 3 secondes. Quant au design, il s'inspire des réalisations des carrossiers italiens dans les années 1970. **M. N.**

TESLA

La ligne du Cybertruck s'inspire du design italien des années 1970.

INRIA

QUESTIONS À

Claude Kirchner

Directeur du Comité pilote d'éthique du numérique

Un comité d'éthique se penche sur le numérique

Quelles sont les missions du nouveau Comité pilote d'éthique du numérique ?
Il s'agit de mener une réflexion sur les enjeux éthiques du numérique, dans un premier temps dans trois domaines : véhicule autonome ; agents conversationnels [Amazon Alexa, Google Home...] ; intelligence artificielle dans le diagnostic médical. Par exemple, pour les enceintes connectées, nous devons nous interroger sur le respect de la vie privée par ces dispositifs qui écoutent en permanence.

Quel est son objectif ?
Éclairer et sensibiliser la société et le régulateur sur les enjeux éthiques des sciences, technologies, usages et innovations du numérique. Comment sont faits les choix des algorithmes ? Avec quel niveau de transparence ? Qui les maîtrise, etc. Par exemple, la réponse d'un agent conversationnel est-elle neutre ou biaisée ? Le but est d'évaluer les concessions faites à la vie privée en fonction du service rendu. Par exemple, se faire guider par son GPS est très utile mais ouvre la porte au suivi.

Quelles sont vos échéances ?
Nous devons remettre nos recommandations sur ces trois sujets au Premier ministre en juin 2021. Mais nous avons aussi la possibilité de nous saisir d'autres thèmes concernant l'éthique et le numérique.

Propos recueillis par O. H.

ISIFC
Génie Biomédical

Les ingénieurs ISIFC sont à l'interface entre la médecine et l'ingénierie, pour concevoir et fabriquer les prothèses, les systèmes d'imagerie médicale ou encore les exosquelettes de demain.

- **Triple culture :** sciences pour l'ingénieur, biologie-santé et réglementaire-clinique.
- **Plus de 9 mois de stages** en entreprise, laboratoire et hôpital
- Des opportunités **à l'étranger**
- **Un contrat de professionnalisation** possible en dernière année
- **Des associations étudiantes fortes**, dont une humanitaire
- **Un recrutement à Bac+2** (profil scientifique)
- **Plus de 4 offres de stage** en entreprise **par élève**

UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ UBFC

isifc.univ-fcomte.fr

La révolution des immunothérapies contre les cancers

Plutôt que de s'attaquer directement aux cellules cancéreuses, l'immunothérapie consiste à réactiver notre système immunitaire afin qu'il les combatte plus efficacement[1]. Des milliers de malades en ont déjà bénéficié en France et dans le monde. Et dans ce domaine, l'entreprise biopharmaceutique Bristol-Myers Squibb a été pionnière. En France, la première immunothérapie a été mise à disposition en 2011[2]. La recherche continue car les défis à relever sont encore nombreux pour lutter contre les cancers.

C'est à présent un fait établi : le développement d'un cancer est dû à une prolifération incontrôlée de cellules devenues anormales[3], notamment parce que nos défenses immunitaires ne parviennent plus à détruire ces cellules altérées[4].
Le système immunitaire est le système de défense du corps. Il est constitué d'organes (la moelle osseuse, la rate, le thymus), des ganglions lymphatiques et de cellules, les globules blancs, qui sont chargés de reconnaître et de détruire les constituants étrangers ou anormaux : virus, bactéries, mais aussi cellules cancéreuses[4,10]. Les lymphocytes T sont l'une des familles de globules blancs. Véritables « soldats » de l'immunité, leur mission est d'éliminer les cellules anormales, dont les cellules cancéreuses[5].

Les cellules cancéreuses sont capables « d'endormir » le système immunitaire

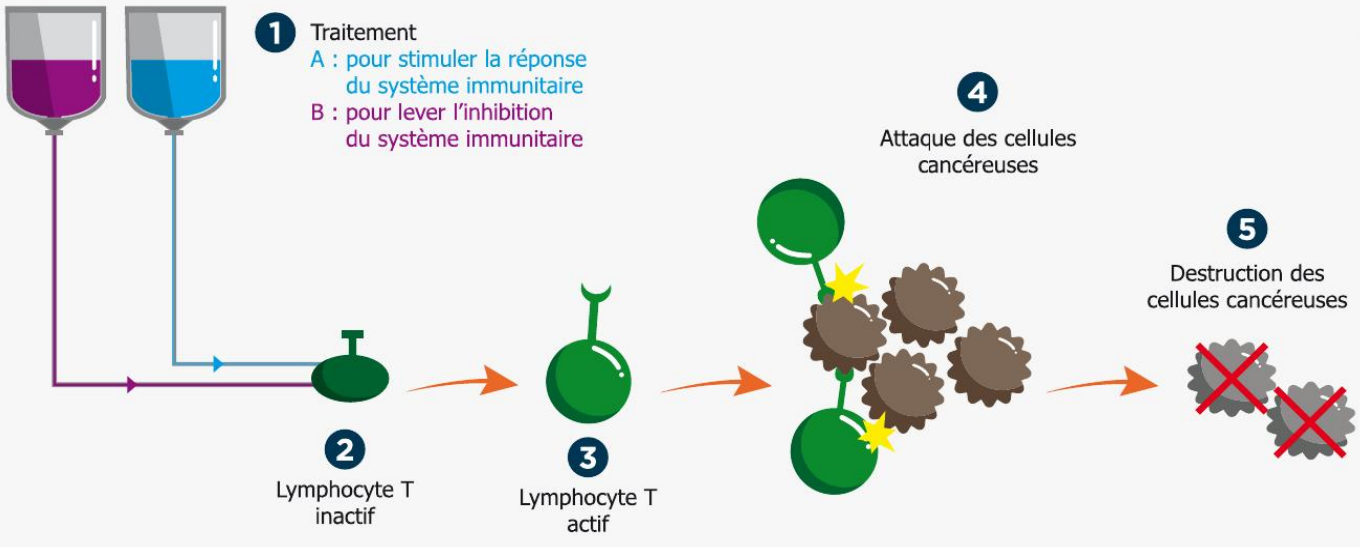
En situation normale, il existe des mécanismes qui régulent l'immunité[2]. Si un cancer parvient à se développer, les cellules de la tumeur détournent ces mécanismes de régulation du système immunitaire, ce qui a pour effet de rendre les lymphocytes T inactifs[2,6].
Les cellules tumorales échappent alors à la destruction. Cette découverte scientifique est à l'origine d'un changement d'approche thérapeutique révolutionnaire[7].

Restaurer l'immunité contre le cancer

Au lieu de détruire directement les cellules cancéreuses (et aussi des cellules saines environnantes) comme le font la

PRINCIPE DE L'IMMUNOTHÉRAPIE

Renforcer les défenses immunitaires pour reconnaître et attaquer les cellules cancéreuses.



radiothérapie, la chimiothérapie et les thérapies ciblées, les immunothérapies visent à « réveiller » le système immunitaire afin qu'il s'en charge. Les lymphocytes T peuvent donc à nouveau reconnaître, attaquer et entraîner la destruction des cellules tumorales[1,4].

Des milliers de malades souffrant de mélanome malin, de carcinome à cellules de Merkel (des formes de cancers de la peau), de certaines formes de cancer du poumon, du rein, de cancer de la tête et du cou (de la sphère ORL) ou encore de lymphome de Hodgkin (cancer du sang) ont déjà été ou sont traités par immunothérapie. Chez certains patients, l'efficacité est durable[8] et le cancer est maintenu sous contrôle[7].

Toutefois, beaucoup reste à faire pour que l'immunothérapie bénéficie à un plus grand nombre de patients et démontre son efficacité dans plus de cancers[7,8].

Intensifier la recherche en immuno-oncologie

Les scientifiques cherchent d'une part à identifier des biomarqueurs[1,2] (facteurs prédictifs) de réponse et d'autre part à améliorer l'efficacité en mettant au point de nouvelles combinaisons[8], qu'il s'agisse d'associer deux immunothérapies[1] ou bien des immunothérapies avec les autres types de traitements[8] (chirurgie, radiothérapie, chimiothérapies, thérapies ciblées). Des essais cliniques sont menés dans de nombreuses tumeurs : plus de 2900 étaient répertoriés dans le monde sur le site international www.clinicaltrials.gov à fin juillet 2019. Avec plus de 300 essais en cours répertoriés, la France figure parmi les pays les plus actifs, permettant de faire progresser les connaissances et d'apporter de nouveaux espoirs aux patients.

Bristol-Myers Squibb investit massivement dans la recherche et développement en immuno-oncologie et multiplie les partenariats avec la recherche publique, mais aussi les acteurs privés, pour parvenir à comprendre encore plus finement les interactions entre cellules cancéreuses et immunité. Bristol-Myers Squibb développe actuellement 17 nouvelles immunothérapies dans 35 types de cancers[9].

C'est en intensifiant la recherche que de nouvelles avancées décisives pourront être réalisées en matière de lutte contre le cancer[10].

[1] Institut National du Cancer. Les immunothérapies spécifiques dans le traitement des cancers. Rapport. Mai 2018 • [2] Ileana E et al. Immune-Checkpoints : les nouvelles immunothérapies anticancéreuses. Bull Cancer. 2013;100:601-10 • [3] https://www.e-cancer.fr/Comprendre-prevenir-depister/Qu-est-ce-qu-un-cancer/Le-ou-les-cancers • [4] https://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Se-faire-soigner/Traitements/Therapies-ciblees-et-immunotherapie-specifique/Immunotherapie-mode-d-action • [5] https://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Les-cancers/Le-lymphome-hodgkinien/Les-lymphomes-generalites/Les-lymphocytes • [6] https://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Se-faire-soigner/Traitements/Therapies-ciblees-et-immunotherapie-specifique/Immunotherapie-mode-d-action • [7] The Cancer Immunotherapy Revolution, Priscilla N. Kelly, Science 359 (6382), 1344-1345 - 23 March 2018 • [8] Ribas et al., Science 359, 1350–1355 (2018) • [9] Bristol-Myers Squibb 2018 Financial Report • [10] https://www.e-cancer.fr/Expertises-et-publications/Decryptages/La-theorie-de-l-evolution-une-revolution-pour-les-strategies-therapeutiques.

Les bienfaits de la méditation ET DU CONTRÔLE DE SOI

Devenue un objet d'étude, la méditation, régulation de l'attention et des émotions, fascine les chercheurs, tant pour ses effets sur la santé et le vieillissement, que pour son action sur les gènes, au cœur de nos cellules.

Dossier réalisé par
Hugo Jalinière
et Elena Sender

« Asseyez-vous, le dos droit, *les mains détendues. Maintenant, focalisez votre attention sur votre respiration.* » Celui qui distille ce conseil au public n'est pas un maître zen, mais le professeur Steven Laureys, neurologue, directeur du Coma Science Group au CHU de Liège (Belgique). Un chercheur mondialement reconnu pour ses travaux sur la conscience et les cerveaux lésés (*lire* S. et A. *n° 873, novembre 2019*). Le neurologue qui considérait la méditation comme un *« phénomène de mode »* au début des années 2000, a fait sa révolution. Le tournant ? Sa rencontre décisive avec Matthieu Ricard, moine bouddhiste et docteur en génétique, dont il a étudié le cerveau. Il en est désormais convaincu : *« La méditation, c'est bon pour le cerveau ! »*, titre de son dernier essai (Odile Jacob 2019). *« C'est une gymnastique mentale qui n'a rien de magique ni d'ésotérique*, assure Steven Laureys. *Elle exerce la capacité de régulation de l'attention et des émotions.* » Preuves scientifiques à l'appui.

La forme de méditation la plus médiatisée dans le monde occidental est dite, en français, de pleine conscience (calque de l'anglais *mindfulness*), qui consiste à prendre conscience de ses pensées, émotions, sensations... sans porter de jugement. Deux programmes sont utilisés dans le domaine de la santé (*lire l'encadré p. 30*). En France, ils sont proposés dans plus de 30 hôpitaux, enseignés dans cinq diplômes universitaires (DU) et sont étudiés dans 19 programmes de recherche, tant en épidémiologie, psychiatrie, imagerie cérébrale qu'en épigénétique. Et une étude de l'Inserm à Caen (Silver Santé Study) a obtenu 6 millions d'euros de l'Europe pour évaluer l'effet de la méditation sur le vieillissement *(lire p. 34)*. Le sujet est

L'imagerie cérébrale permet de comprendre le fonctionnement du cerveau du moine bouddhiste Matthieu Ricard en méditation, étudié par Steven Laureys, du Coma Science Group de Liège.

PHOTO : HENK VAN RENSBERGEN/CHU LIÉGE - ILLUSTRATION : MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES ET AVENIR

La méditation sollicite plusieurs zones cérébrales liées au contrôle de l'attention, à la régulation des émotions et à la métacognition (pensée sur ses propres pensées).

Cortex cingulaire postérieur

Mémoire et attention

Il est actif lorsqu'on fait appel à la mémoire autobiographique (perception, pensées, sentiments…), ce qui favorise la métacognition.

Cortex cingulaire antérieur

Régulation émotionnelle

Il perçoit nos paramètres internes (respiration, battements cardiaques…), ce qui aide à la régulation émotionnelle. Il fait partie du « réseau de saillance », qui choisit quels stimuli sont dignes d'attention.

Cortex préfrontal

Focalisation de l'attention

Le cortex préfrontal ventromédian fait partie du « réseau du mode par défaut », un état de base quand le cerveau est inoccupé et que l'esprit vagabonde. Le cortex préfrontal dorso-latéral s'active, lui, pour focaliser et maintenir l'attention.

Hippocampe

Mémoire

Il est impliqué dans le processus de mémorisation. Son activité est augmentée chez les méditants.

Jonction temporo-pariétale

Sensibilité à la distraction

Incluse dans le « réseau du mode par défaut », elle s'active lorsque l'esprit vagabonde et détecte les distracteurs qui attirent l'attention.

Amygdale

Peur, émotions négatives

Elle est essentielle au décodage des émotions, en particulier des stimuli menaçants. Son activité et son volume diminuent avec la pratique de la méditation.

Insula antérieure

Perception interne

Elle participe à la conscience intéroceptive (état interne) et fait partie du « réseau de saillance » sensible aux stimuli. Elle aide l'attention à revenir sur le sujet qui l'intéresse.

même devenu un enjeu officiel. Un colloque sur la pleine conscience, organisé par le ministère des Solidarités et de la Santé, s'est tenu à l'Assemblée nationale en juin 2019. *« La pratique permet de développer une "présence à soi" et des compétences dont les bénéfices vont être nombreux sur la santé physique, psychique et les relations sociales,* a ainsi assuré Jérôme Salomon, directeur général de la santé. *De nombreuses études scientifiques ont montré des résultats positifs de cette pratique laïque et "protocolisée" sur l'attention focalisée, les symptômes anxio-dépressifs, la prévention des rechutes dépressives et addictives et de la dépression post-partum, les troubles bipolaires, la diminution de la tension artérielle et une meilleure gestion de la douleur. » (Lire ci-contre.)*

Savoir faire le tri pour méditer sans danger

Pourtant, sur plus de 2000 publications traitant de méditation, un tri s'impose. *« Nombre d'études n'ont pas été assez étayées, ni correctement contrôlées »*, précise Steven Laureys. Devant l'Assemblée nationale, Anne Josso, secrétaire générale de la Mission interministérielle de vigilance et de lutte contre les dérives sectaires (Miviludes), a souligné d'autres biais : les chercheurs impliqués sont souvent eux-mêmes méditants et certains financements proviennent d'organismes privés directement intéressés. En outre, sur 2800 signalements faits auprès de la Miviludes en 2018, une centaine concernait cette pratique (enseignants non ou mal formés, dérives sectaires). Attention donc à ne pas installer son coussin de méditation n'importe où ! Et à bien connaître les effets secondaires potentiels *(lire p. 36)*. Ainsi, un collectif de chercheurs de l'université Brown (Providence, États-Unis) propose des formations pour *« méditer sans danger »*. ■ **E. S.**

La méditation est un sport cérébral

Neurologue et spécialiste des états de conscience modifiée, Steven Laureys détaille les effets bénéfiques de cet exercice d'attention.

Méditer fait travailler l'attention grâce à l'activation successive de différents réseaux neuronaux, selon Steven Laureys, neurologue, directeur du Coma Science Group au CHU de Liège (Belgique). Ses effets ont été mis en évidence en observant par imagerie des volontaires en train de méditer, en se focalisant sur leur souffle. L'étude a été conduite en 2012 par l'équipe de Wendy Hasenkamp de l'université Emory (États-Unis). *« Un cycle méditatif en quatre phases se met en place »*, explique Steven Laureys, qui considère l'exercice comme un un « sport cérébral ». Au départ l'esprit « vagabonde » d'une pensée à une autre, mettant en jeu un réseau neuronal appelé « mode par défaut » (cortex préfrontal ventromédian et jonction temporo-pariétale, *voir l'infographie p. 29*). Puis la personne méditante comprend qu'elle est distraite grâce à l'activation d'un autre réseau dit de saillance (cortex cingulaire antérieur et insula). En réaction, elle focalise alors volontairement son attention sur un objet ou sa respiration par exemple (cortex préfrontal dorsolatéral et lobe pariétal inférieur). Puis elle parvient à maintenir cette attention (cortex préfrontal dorsolatéral). Grâce à la méditation, par exemple, celle-ci est donc mobilisée, ce qui est crucial pour un bon fonctionnement cognitif et une sensation de bien-être *(lire l'interview p. 33)*. La méditation permet aussi de mieux réguler ses émotions. Les travaux de Richard Davidson, professeur de psychologie à l'université du Wisconsin (États-Unis) ont montré dès 2005 qu'elle favorisait une activité du cortex préfrontal gauche, impliqué dans les émotions positives. Steven Laureys a même fait une constatation en observant par IRM le cerveau de Matthieu Ricard, qui a plus de 30 000 heures de méditation à son actif : un épaississement de la matière grise (neurones et leurs connexions) dans les zones cérébrales déterminantes pour l'attention, la régulation et la perception interne des émotions ainsi que la mémoire. Et une connectivité plus élevée entre ces régions.

CERVEAU « Elle améliore la régulation des émotions »

PRÉVENTION

Deux programmes adaptés à la santé

Le premier concerne la prévention du stress : le MBSR (*Mindfulness Based Stress Reduction* ou réduction du stress fondé sur la pleine conscience), créé en 1979 par Jon Kabat-Zinn, docteur en biologie moléculaire à l'université du Massachusetts (États-Unis). Le second est utilisé en psychothérapie pour prévenir la rechute dépressive : le MBCT (*Mindfulness Based Cognitive Therapy* ou thérapie cognitive fondée sur la pleine conscience). Il a été développé par trois chercheurs en psychologie de l'université d'Oxford (Royaume-Uni).

STRESS « Elle calme le centre de la peur »

Dès que le cerveau perçoit un danger, l'amygdale cérébrale et le réseau des émotions s'activent. Ce qui libère des hormones comme le cortisol et l'adrénaline, entraînant une réaction de fuite ou d'attaque. *« Un embouteillage, un courriel stressant ou de simples pensées suffisent à déclencher ce processus que l'on appelle "l'axe du stress"*, expose Steven Laureys. *Or lorsque le stress devient chronique, le risque de voir apparaître des troubles du sommeil ou des maladies (cardio-vasculaires, hypertension...) n'est jamais loin.* » Il est possible d'apprendre à « apaiser » son amygdale par la méditation, comme l'a montré l'équipe de Richard Davidson, de l'université du Wisconsin (Madison, États-Unis), et d'Antoine Lutz, du Centre de recherche en neurosciences de Lyon (2018). Pour ce faire, les chercheurs ont observé le cerveau de 90 volontaires — méditants ou non — en train de regarder des images émotionnellement fortes. Résultat : l'amygdale des méditants réagit moins que celle des autres. La méditation n'est pas une baguette magique pour autant. Ses effets restent modestes à en croire une méta-analyse de l'université Johns-Hopkins (Baltimore, États-Unis) qui a passé au crible 47 études portant sur l'effet de la méditation de pleine conscience chez 3315 personnes souffrant de problèmes liés au stress (2014). Les programmes améliorent « modérément » l'anxiété, la dépression, la douleur, et « faiblement » le stress, avec un effet équivalent à d'autres traitements (médicaments, exercices...).

DEBBY TERMONIA

SOMMEIL « Elle favorise l'endormissement, sans effets secondaires »

« *Les somnifères n'offrent pas un sommeil réparateur sain car ils provoquent l'endormissement un peu comme une anesthésie générale, autrement dit un coma pharmacologique* », explique Steven Laureys. La méditation de pleine conscience offrirait une alternative, selon le neurologue, *« sans effets secondaires »*. Il s'appuie sur une méta-analyse de l'université Memorial de Terre-Neuve (Canada) publiée en 2019 qui a passé en revue 13 essais sur 864 personnes souffrant d'insomnie ayant ou non suivi une intervention de méditation. Les résultats indiquent que cette dernière est *« significativement beaucoup plus efficace pour réduire la sévérité de l'insomnie »* que d'autres méthodes ou rien, dans les groupes témoins. Et les effets semblent être durables *« trois mois après l'intervention »*. Une conclusion limitée néanmoins par l'hétérogénéité des essais. Déjà en 2016 une méta-analyse chinoise, menée par la Deuxième Université de médecine militaire de Shanghai avait analysé six essais cliniques menés sur 330 participants. Elle révélait que ces programmes de méditation amélioraient significativement la qualité du sommeil et l'heure de réveil. En revanche, elle ne notait pas d'influence sur d'autres paramètres telle la durée totale du sommeil. Les auteurs concluent que la méditation de pleine conscience *« peut améliorer modérément certains paramètres de sommeil chez des patients souffrant d'insomnies »* et qu'elle peut servir de *« traitement auxiliaire aux médicaments »*.

DOULEUR « La méditation aide à réduire les antalgiques »

« *La douleur a une dimension physique et une dimension émotionnelle*, assure Steven Laureys. *L'objectif d'un programme MBSR [réduction du stress basée sur la pleine conscience] n'est pas de guérir les patients mais d'améliorer leur qualité de vie en diminuant ce ressenti émotionnel douloureux.* » Une méta-étude, décryptant 25 études ayant suivi 1285 patients atteints de douleurs chroniques, a été réalisée par une équipe de l'université de Twente (Pays-Bas) en 2016. Toutes avaient pour objectif de comparer l'effet de thérapies fondées sur la méditation de pleine conscience avec les traitements usuels. Conclusion : les programmes à base de méditation ont un effet « faible à modéré » sur le vécu de la douleur mais peuvent partiellement compléter les traitements médicamenteux en cas de douleurs chroniques. « *Sa pratique peut donc aider à réduire les antalgiques* », note le neurologue.

Chez les méditants expérimentés, il est observé un phénomène curieux. Pour les besoins d'une étude de l'université de Montréal (Canada), publiée en 2010 par l'équipe de Pierre Rainville, 17 méditants zen expérimentés (versus 18 témoins) ont été soumis à un test de douleur (chaleur sur la main), et leurs cerveaux analysés par IRM. Observation : « *les méditants zen perçoivent davantage l'expérience sensorielle douloureuse que les autres* », rapporte Steven Laureys. « *Mais ils en ressentent moins les effets désagréables que les non experts. Comme si ressenti physique et vécu émotionnel étaient découplés.* » En outre, le nombre d'années passées à méditer est associé à une plus fine couche de cortex au niveau des zones cérébrales qui gèrent la douleur.

DEBBY TERMONIA

DÉPRESSION « Elle diminue de 50 % le risque de rechute »

La méditation ne soigne pas la dépression. Mais elle diminue de 50 % le risque de rechute. Et c'est précisément l'objectif du programme MBCT (*Mindfulness Based Cognitive Therapy* ou thérapie cognitive fondée sur la pleine conscience) (*lire p. 30*) créé par deux psychologues britanniques, Mark Williams et John Teasdale, et un Canadien, Zindel Segal. Les chercheurs, associés à d'autres universités européennes, ont fait une méta-analyse afin de comparer l'effet de la méthode MBCT à celui des traitements classiques chez des personnes dépressives en rémission. Chez les 1258 patients concernés, il est apparu qu'elle réduit de moitié le risque de rechute comparé à un suivi habituel (sans médicament), et est aussi efficace qu'un traitement antidépresseur. Elle serait donc indiquée pour un large éventail de patients en rémission complète ou avec des symptômes résiduels. Selon les auteurs, la méditation de pleine conscience permet de « couper à la racine » le retour de schémas cognitifs et affectifs négatifs en période de rémission, qui peuvent, s'ils persistent, conduire à la rechute. Il existe cependant des contre-indications, telles qu'un état dépressif en phase aiguë, un trouble bipolaire non stabilisé, un état dissociatif, des séquelles d'abus physiques, émotionnels ou sexuels, des troubles psychotiques… (*lire p. 36*). **E. S.** @ElenaSender

INTERVIEW

JEAN-PHILIPPE LACHAUX

« Il faut faire attention à l'attention »

Ce neurobiologiste explique comment un cerveau attentif s'implique davantage, réagit, comprend et mémorise mieux.

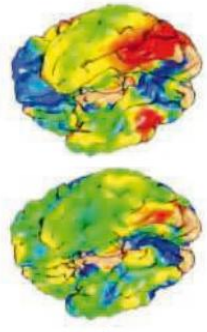
FRANÇOIS GUÉNET/DIVERGENCE

Jean-Philippe Lachaux est chercheur en neurosciences cognitives, directeur de recherche CNRS au laboratoire Dynamique cérébrale et cognition (Inserm) à Lyon.

Qu'est-ce que l'attention ?
À chaque instant notre cerveau est bombardé de pensées et de signaux sensoriels qu'il ne peut pas tous traiter. Alors, il active un système qui privilégie certains signaux et en inhibe d'autres. Ce système de filtre est l'attention. Mieux ! il existe des populations de neurones dédiées à chaque objet de notre attention comme une musique ou un visage... À Lyon, nous sommes en train d'identifier la région du cortex qui recrute ces populations.

En quoi est-il important d'être attentif ?
Un cerveau attentif s'implique davantage, réagit, comprend et mémorise mieux. On ne peut quasi rien apprendre sans une capacité d'attention stable. De plus, une relation où l'on se prête mutuellement attention est plus profonde et satisfaisante. Enfin, elle contribue à une bonne santé mentale. Quelqu'un qui en a une parfaite maîtrise, ne ruminera pas longtemps ses pensées sombres.

Pourquoi est-ce si difficile de rester concentré ?
Lorsque nous sommes concentrés sur une tâche, nous nous laissons souvent capter par un événement extérieur. Notre cerveau aime ce qui est brillant, sonore, nouveau, ce qui nous émeut, nous obsède, ou bien ce que nous avons l'habitude de faire. Maurizio Corbetta, de l'université Washington de Saint Louis, aux États-Unis, a localisé ce système de distraction dans la jonction temporo-pariétale du cerveau. Sans elle, le cerveau vivrait dans un monde clos, focalisé sur son objet d'étude. Ce qui ne serait pas sans danger. On risquerait par exemple de demeurer plongé dans un livre passionnant alors que la bibliothèque brûle !



Lorsqu'une personne lit attentivement, les cortex visuel et préfrontal sont activés (en haut, en rouge et bleu). En bas, la lecture est distraite et le cerveau n'active pas ces zones (vert).

La distraction est donc un facteur de survie ?
Absolument. L'enjeu n'est pas d'éviter ces distractions mais de savoir revenir à sa première cible. Ce qui est de plus en plus difficile dans notre monde où l'usage du téléphone portable, de l'ordinateur, d'Internet, etc. démultiplie les motifs de distraction.

Ne peut-on pas faire plusieurs choses à la fois ?
Le cerveau « multitâche » n'existe pas. C'est comme si on essayait de faire deux bras de fer en même temps... Le cerveau passe d'une tâche à l'autre, en se déconnectant et se reconnectant en permanence, ce qui n'est pas efficace.

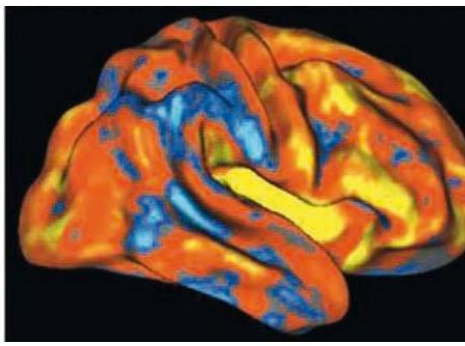
Comment résister ?
Couper tout accès aux écrans... ou apprendre à réguler son attention. Dans cette optique, nous avons élaboré avec mon équipe le programme Atole (Attentif à l'école), gratuit, qui a déjà été dispensé à desmilliers d'élèves. On y apprend à faire une seule chose en... « bullant » ! Ces bulles sont des petits moments où l'on met entre parenthèses tous nos objectifs sauf un — comme faire une course ou écrire un courriel — sur une durée très limitée. On peut également dé-com-po-ser ses projets en tâches simples. Par exemple, avant de rédiger un fastidieux rapport, le découper en actions physiques organisées dans le temps : s'asseoir, prendre une feuille de papier, noter toutes les idées. Le cortex préfrontal affectionne ces séquences simples aux règles bien établies.

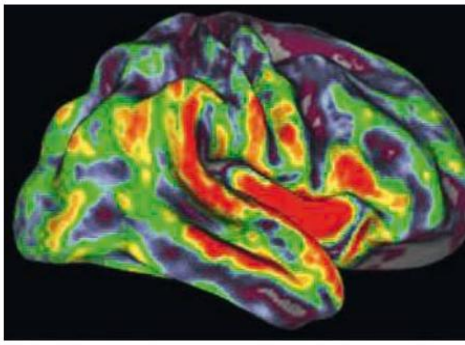
La méditation peut-elle aider ?
Oui, car c'est l'exercice de régulation attentionnelle par excellence. Elle exige de faire attention à son attention, remarquer à quel moment elle s'égare et apprendre à la stabiliser. Il a été montré que s'exercer de la sorte, renforce notre capacité à une attention soutenue. ■

Propos recueillis par E. S.

Une journée de méditation modifie la régulation des gènes

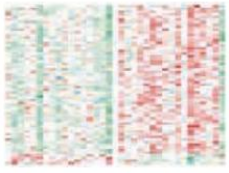
Sa pratique influence l'expression de gènes impliqués dans l'inflammation, le métabolisme et le vieillissement des cellules, selon une équipe du Centre de recherche en neurosciences de Lyon.





Méditer pendant huit heures modifie la régulation de certains gènes ! Telle est la découverte étonnante qu'ont faite les équipes de Raphaëlle Chaix de l'unité d'écoanthropologie du CNRS à Paris, et Perla Kaliman, de l'Université ouverte de Catalogne (Espagne), en collaboration avec Antoine Lutz, chercheur au Centre de recherche en neurosciences de Lyon, et Richard Davidson, de l'université du Wisconsin à Madison (États-Unis). Pour les besoins de l'étude, publiée en novembre 2019 dans la revue *Brain, Behavior and Immunity*, 17 volontaires entraînés à méditer et 17 témoins ont passé une journée sous la surveillance des scientifiques. Le premier groupe a été invité à méditer pendant huit heures, tandis que le second a pratiqué des activités de loisirs (lire, marcher, jouer à des jeux vidéo...). Deux prélèvements sanguins, en début et en fin de journée, ont permis de déterminer les modifications qui interviennent dans la régulation des gènes (épigénome) de chacun. « *Déjà en 2014, nous avions montré que huit heures de méditation entraînent une diminution de l'expression des gènes pro-inflammatoires chez des méditants experts* », rappelle Perla Kaliman. Cette fois, les scientifiques ont voulu aller plus loin dans la compréhension du mécanisme moléculaire.

61 modifications sur l'ADN sont apparues chez 17 volontaires (chaque colonne) après 8 heures de méditation (droite) *(Brain, Behavior and Immunity, 2019.)*



RAPHAËLLE CHAIX

Avant Après

Mesurer son impact au cours du temps

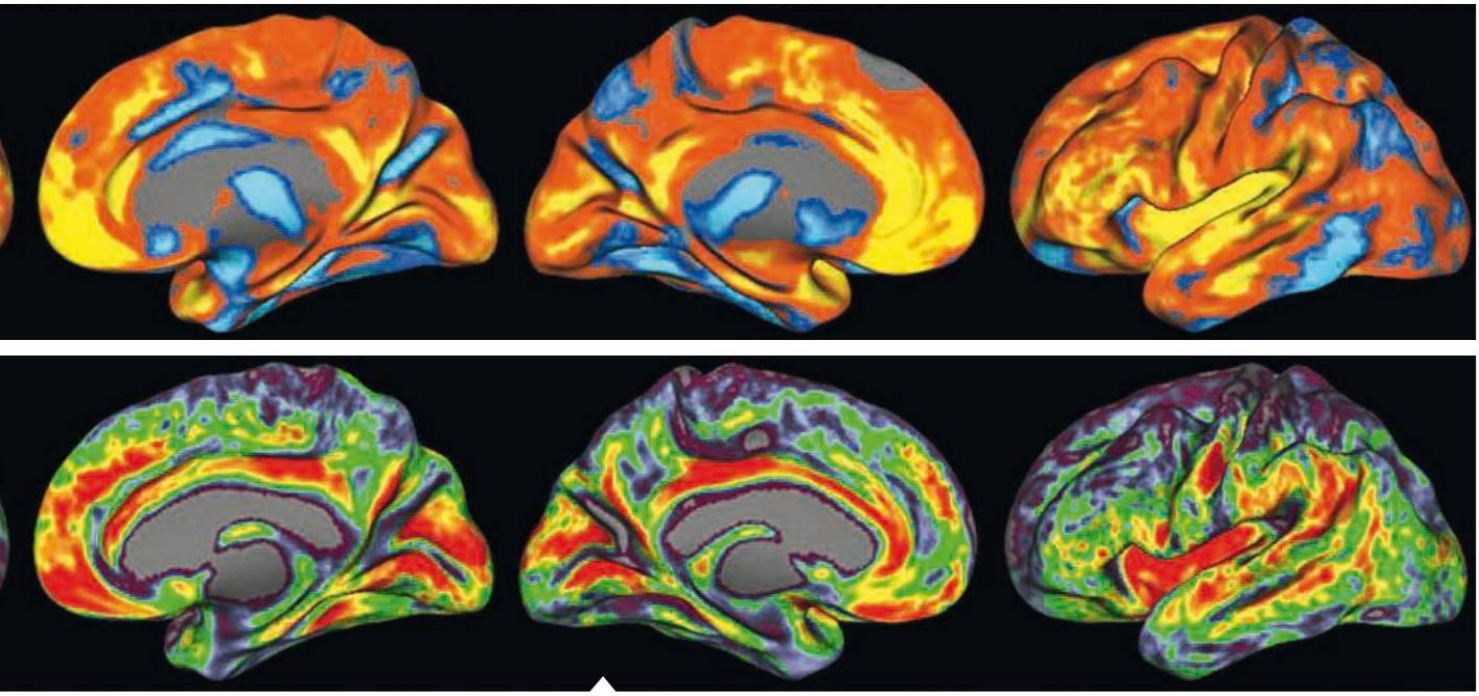
Pour comprendre, rappelons que si les cellules de notre organisme possèdent toutes le même ADN, porteur des gènes, ces derniers s'expriment ou non selon des facteurs internes ou externes à la cellule. Ainsi, comme l'explique Raphaëlle Chaix, « *des études précédentes avaient déjà montré que le stress psychologique influence l'épigénome humain* ». « *Il est notamment associé à une modification des marques chimiques disposées sur l'ADN, appelées "méthylation", qui peut moduler leur expression.* » La méditation, dont les effets antistress ont été démontrés, peut-elle à son tour agir sur ces méthylations ? Les chercheurs ont donc passé au crible plus de 414 000 sites de méthylation chez les 34 volontaires de l'étude, avant et après cette journée d'expérimentation. Surprise ! 61 sites de méthylation sont apparus modifiés à la fin de la journée dans le groupe des méditants, ce qui n'était pas le cas dans le groupe « loisirs ». « *Ces gènes sont principalement impliqués dans le métabolisme et le vieillissement des cellules immunitaires* », poursuit Raphaëlle Chaix. « *L'étude est intéressante*, commente Isabelle Mansuy directrice du laboratoire de neuroépigénétique de l'Université de Zurich (Suisse), non impliquée dans l'étude. *Toutefois, ses limites sont le faible nombre de sujets et les conditions expérimentales et de contrôle qui demanderaient à être décrites plus en détail. De plus il resterait à déterminer quelles sont les conséquences effectives sur l'activité des gènes.* »

Ce résultat est néanmoins une pierre de plus à l'édifice d'An-

ANTONIN CHAIX

« Des études précédentes avaient déjà montré que le stress psychologique influence l'épigénome humain »

Raphaëlle Chaix, généticienne des populations humaines à l'unité d'écoanthropologie du CNRS



GAËL CHÉTELAT

Des régions du cerveau ayant conservé un métabolisme élevé sont apparues chez des méditants experts de plus de 65 ans (en haut) par rapport à des témoins non pratiquants du même âge (en bas). (*Scientific Reports*, 2017.)

toine Lutz, qui étudie la méditation sous tous ses aspects en France depuis 2013. Situé au sein de l'hôpital du Vinatier à Bron (Rhône), son actuel laboratoire occupe un bâtiment blanc, lumineux, non loin d'une prairie où paissent des daims… Le chercheur, qui a travaillé pendant dix ans aux États-Unis aux côtés du pionnier du domaine l'Américain Richard Davidson, entend bien répondre à ces trois questions : que se passe-t-il dans le cerveau lorsqu'on médite ; quels sont les effets de ces pratiques au cours du temps sur le cerveau et le corps ; comment construire des modèles mathématiques qui permettent de rendre compte des mécanismes au niveau neuronal qui sous-tendent les pratiques contemplatives ? « *La méditation de pleine conscience (MBSR) est effectivement un parfait modèle d'étude parce qu'elle repose sur un protocole rigoureux, facilement reproductible par les sujets* », expose Raphaëlle Chaix, qui a montré avec les mêmes auteurs (2017) que l'horloge épigénétique (un marqueur du viellissement) des méditants ralentit à mesure que leur nombre d'années de pratique augmente. Comprendre si la méditation peut aider à « mieux » vieillir est devenu un sujet porteur. La Commission européenne a ainsi débloqué 6 millions d'euros pour l'étude Silver Santé Study, coordonnée par Gaël Chételat, directrice de recherche Inserm à l'université Caen-Normandie et à laquelle participe Antoine Lutz. En 2017, ils ont déjà prouvé que le cerveau d'experts en méditation de plus de 60 ans présentait des régions (cortex frontal, cortex cingulaire et insula) plus volumineuses ou avec un métabolisme plus élevé que celui des témoins du même âge. À présent, il s'agit d'observer ou non ce phénomène sur 146 participants de plus de 65 ans, non expérimentés. Pendant 18 mois, charge à eux de suivre un cours hebdomadaire d'anglais ou de méditation, et 20 minutes d'exercices quotidiens. Les paramètres (images cérébrales, sommeil, analyses sanguines, tests comportementaux, mode de vie, etc.) des deux groupes seront ensuite comparés. En attendant les résultats, en 2021, à Lyon on ne compte pas s'arrêter en si bon chemin. Alors qu'il se réjouit de voir le diplôme universitaire « méditation et pleine conscience : approche intégrative en santé » fêter ses deux années d'existence, Antoine Lutz lance un nouveau projet, I-medit. Un institut de formation et de recherche où tous les soignants pourront se former à la méditation et les chercheurs mener des études sur leurs cerveaux. ■ **E. S.** @ElenaSender

GETTY IMAGES

Mieux vieillir grâce à la méditation : une étude financée par l'Union européenne est en cours pour confirmer ce phénomène.

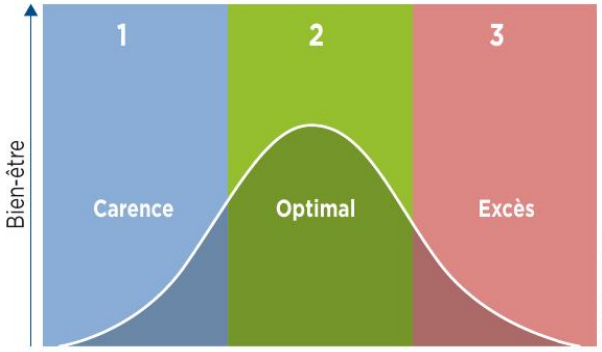
BOAZ TEITELBAUM/CAMERAPRESS/GAMMA-RAPHO

Dépression, addictions… des risques à identifier

Modifier son état de conscience peut provoquer des troubles potentiellement graves, en particulier chez les personnes atteintes d'affections psychiques. Attention aussi au dévoiement de cette pratique au profit de dérives sectaires.

LA VIE EN PLEINE CONSCIENCE n'est pas toujours rose. Et si la méditation apparaît de plus en plus comme une pratique aux bénéfices multiples, elle présente aussi, comme toute stratégie thérapeutique, son lot d'effets secondaires et de contre-indications. À trop chercher à réguler ses émotions, il arrive même que celles-ci… disparaissent ! *« J'ai vu des cas où les méditants avaient "surrégulé" leurs émotions. Ils en avaient certes très peu de négatives, mais aussi très peu de positives, jusqu'à une perte d'affection pour leurs enfants par exemple »*, raconte Willoughby Britton, directrice du Laboratoire de neuroscience clinique et affective (CLANlab) de l'université Brown, à Providence (États-Unis). Des cas dus à une pratique trop intensive ou inadaptée selon cette spécialiste. En effet, la courbe du bien-être promise par la méditation n'est pas celle que l'on croit. *« Elle a la forme d'un U inversé* [voir le schéma ci-contre]. *Autrement dit, il existe une durée optimale au-delà de laquelle le méditant peut se*

Séance de méditation collective organisée par un grand magasin londonien pour ses clients.



BRUNO BOURGEOIS

La courbe du bien-être du méditant se présente en forme d'U inversé. Il y aurait ainsi un seuil de temps passé à méditer en pleine conscience au-delà duquel le bénéfice décroît.

retrouver dans une situation plus inconfortable qu'au départ », poursuit la chercheuse. Une fenêtre qui dépend à la fois du profil du méditant et du type de méditation pratiqué, certains y consacrant plusieurs heures par jour durant plusieurs années quand d'autres se satisfont de trois à vingt minutes quotidiennes.

S'il est encore difficile aux neurosciences de mesurer la durée optimale pour chacun, cette théorie de la courbe en U inversé devrait encourager les instructeurs à une plus grande vigilance dans leurs pratiques. Willoughby Britton a ainsi cosigné en 2018, avec un collectif international de 15 chercheurs spécialisés, une revue de la littérature en forme de plaidoyer, alertant sur le fait que les effets négatifs ont été négligés par la recherche. Or on ne modifie pas impunément ses états de conscience. En particulier chez les personnes atteintes d'affections psychiques : dépression, addictions, schizophrénie, troubles bipolaires ou risque psychotique. Sauf exception, il s'agit de contre-indications. « *De trop hauts niveaux de concentration sur soi ont été associés, de façon répétée, à une aggravation de la santé mentale des personnes atteintes de ces pathologies* », rappelle Willoughby Britton dans un article publié en 2019. En cause ? Une hyperactivation d'un des lobes du cerveau (cortex insulaire) provoquée par « l'interoception », soit l'attention qu'on porte à ce qui se passe « à l'intérieur » de soi, que ce soit physique (respiration, battements du cœur, sensations) ou psychique (émotions, sensibilité…). Cette partie du cortex s'active lorsqu'on mesure notre rythme cardiaque ou qu'on a faim mais est aussi fortement impliquée dans la régulation des émotions ou des fonctions autonomes comme les systèmes nerveux et immunitaire. En méditant, l'intensité de l'interoception est multipliée, comme l'est l'activation des réseaux de neurones impliqués. C'est ce qui procure le « bien-être » promis par la méditation de pleine conscience.

Mais ce phénomène peut entraîner à la longue des dérèglements psychiques voire à des pathologies : de la simple émotivité à l'attaque de panique, en passant par l'anxiété, la tristesse, les flash-back traumatiques ou même des douleurs physiques. « *Seules 25 % environ des études scientifiques publiées prennent en compte les effets indésirables liés à la méditation* », relève Nicholas Van Dam, chercheur en psychologie à l'université de Melbourne (Australie). « *Mes 30 premières études portaient sur les avantages de la pleine conscience et il suffisait en moyenne de cinq pages pour répondre aux commentaires et critiques des examinateurs avant que l'article ne soit publié*, se souvient Willoughby Britton. *Lorsque j'ai commencé à évoquer les risques, ce nombre a grimpé de 20 à 35 pages ! De quoi expliquer pourquoi les recherches en défaveur de la pleine conscience ne sont pas publiées.* »

Un guide des bonnes pratiques

C'est ce vide qu'espèrent combler nombre d'experts. À commencer bien sûr par Willoughby Britton dont l'une des premières initiatives au CLANlab a été de publier un « guide des bonnes pratiques » intitulé *First, do not harm* (« *D'abord ne pas nuire* »). Un avertissement adapté du premier

JARED LINDAHL

« Il existe une durée optimale au-delà de laquelle le méditant peut se retrouver dans une situation plus inconfortable qu'avant »

Willoughby Britton, directrice du laboratoire de neuroscience clinique et affective (CLANlab) à l'université Brown, Providence, États-Unis

Les applications de méditation guidée proposent des programmes ciblés tels que Vaincre sa peur, La gestion du stress, Le lâcher-prise, ou même cuisiner en pleine conscience…

PRODUITS DÉRIVÉS

Une déferlante marketing

Livres, CD, DVD… la méditation est partout, vendue sous toutes ses formes. Le très médiatique psychiatre Christophe André et le moine bouddhiste Matthieu Ricard vendent ainsi leurs livres par centaines de milliers d'exemplaires. Et le marché des applications pour smartphone est en plein boom. Le leader français du secteur de la méditation guidée, Petit Bambou, revendique 3 millions d'abonnés. Une goutte d'eau à côté des deux géants américains (Headspace et Calm) qui se partagent le marché mondial avec près de 100 millions d'utilisateurs revendiqués à eux deux ! Le premier a lancé sa version française en 2019 et le second est valorisé à un milliard de dollars. Aux États-Unis, le marché de la méditation (applications, formations, etc.) devrait dépasser 2 milliards de dollars en 2022 (Marketdata). Et les applis élargissent leur public. Petit Bambou multiplie les séances publiques de méditation dans les commerces (Galeries Lafayette, Fnac…) et les entreprises. Dans la même logique, Headspace a signé des partenariats avec 350 groupes dont Unilever, LinkedIn ou la NBA, la ligue américaine de basket-ball. Ces grandes sociétés intègrent l'application dans leur couverture santé. En juillet 2019, le ministère de la Santé français a organisé un colloque intitulé « Pleine conscience : lever les doutes, ouvrir les perspectives ». Un premier pas vers le remboursement par la sécurité sociale ?

principe de la médecine, puisque la méditation a désormais des prétentions thérapeutiques. Consentement éclairé, examen préalable pour dépister d'éventuelles vulnérabilités, accompagnement…, tous les thèmes de la sensibilisation au risque sont abordés. La professeure Corinne Isnard Bagnis, néphrologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris et spécialiste de l'accompagnement des patients par la méditation de pleine conscience, le confirme : tout trouble relevant de la psychiatrie doit être traité avant de se lancer dans la méditation de pleine conscience. *« Dans une phase où les symptômes de dépression sont trop intenses, un programme qui consiste à retourner le projecteur vers soi-même et à explorer ses émotions serait assimilable à une torture »*, assure-t-elle. Autrement dit, la méditation prévient les rechutes de la dépression, mais ne peut en aucun cas traiter une phase aiguë.

Se prémunir contre les dérives sectaires

Autre risque non négligeable : son dévoiement au profit de dérives sectaires. Récemment, le Centre national d'accompagnement familial face à l'emprise sectaire (Caffes) a signalé les activités de l'association La Méditation du cœur, afin de la faire expulser de l'auberge de jeunesse de Lille où elle opérait. Elle est en effet liée à Shri Chandra Mission, une organisation spirituelle indienne, classée comme mouvement sectaire en France. *« La méditation est un outil parfait pour faciliter l'emprise mentale et figure désormais dans plus de 30 % de nos signalements »*, alerte Charline Delporte, présidente de la Caffes. De fait, les séances de méditation peuvent effectivement soulager la personne vulnérable qui sera d'autant plus encline à suivre la dérive sectaire. *« C'est un système de codépendance, à la méditation et au leader sectaire »*, précise Charline Delporte. Pour éviter ces pièges, il est donc important de s'adresser aux établissements hospitaliers — qui peuvent orienter vers des centres fiables — ou à des instituts employant des instructeurs dûment formés telle l'Association pour le développement pour la mindfulness. ■

H. J. @HugoJalinière

POUR EN SAVOIR PLUS

- **Association pour le développement de la mindfulness,** qui propose notamment des formations : sciav.fr/875mind
- **ATOLE,** programme de Jean-Philippe Lachaux de découverte et d'apprentissage de l'attention en milieu scolaire : project.crnl.fr/atole
- **La méditation c'est bon pour le cerveau,** Steven Laureys, Odile Jacob, 274 p., 21,90 €

MYSTÉRIEUSE BIRMANIE

Mandalay, golfe du Bengale, temples de Bagan... il y a des noms qui font instantanément rêver. Sans même évoquer la vallée des rubis, célèbre titre de Joseph Kessel, aussi bien journaliste qu'aventurier qui raconta les richesses de Mogok, ville toute empreinte de légendes.

Le voyage proposé aujourd'hui au Myanmar par Sciences et Avenir invite à la découverte de ce pays mieux connu de beaucoup sous le nom de Birmanie, qui paraît toujours aussi mystérieux.

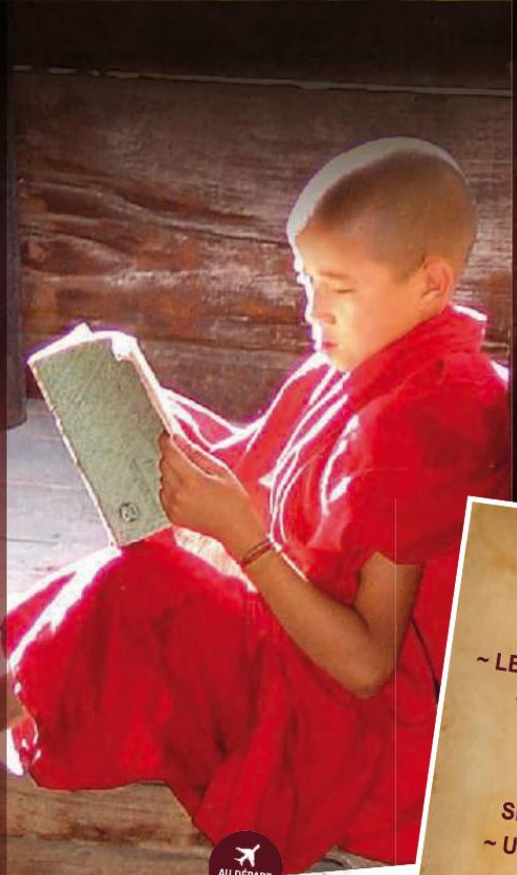
Parce qu'il est synonyme de pierres précieuses - aussi bien saphirs que rubis ! - de jade et autres pierres fines, il nous fallait, pour le décrypter, un spécialiste incontestable du domaine. Ce sera le cas, avec Didier Giard, membre de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer et Président de l'Association Française de Gemmologie, fin connaisseur de géopolitique, qui replacera pour nous l'importance du pays dans l'Asean (association des nations de l'Asie du sud-est) et sur les nouvelles routes de la Soie. Ce sont à la fois la découverte de sites somptueux et la compréhension du monde d'aujourd'hui qui vous sont proposées. Un merveilleux voyage en perspective.

Dr Dominique LEGLU
Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir

AVEC VOUS À BORD !
DIDIER GIARD
Conférencier

Didier Giard est membre titulaire de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer où il occupe le siège de l'ancien ambassadeur André Lewin et est membre de la prestigieuse Société des Explorateurs Français crée en 1937 par Paul-Emile Victor.

Crédit photo : www.cascade-m.com - Crédits photos : Wikimédia / Michael Gunther CC BY-SA 4.0 - Pixabay-CC0



LES EXPÉDITIONS SCIENCES ET AVENIR

CROISIÈRE EN BIRMANIE

FESTIVAL DU PHAUNG DAW OO AU LAC INLE

14 JOURS / 11 NUITS
DU 14 AU 27 OCT. 2020
A BORD DU PANDAW II

LES POINTS FORTS

~ UN CONFÉRENCIER DE TRÈS HAUT NIVEAU SPÉCIALISTE DE LA BIRMANIE.
~ LES VISITES DES PLUS BEAUX SITES DE LA BIRMANIE.
~ UNE DES MEILLEURES PÉRIODES DE L'ANNÉE.
~ LE GRAND MOMENT DE VOTRE CROISIÈRE, LE FESTIVAL DES BATEAUX PAGODES SUR LE LAC INLE, C'EST L'UN DES PLUS BEAUX SPECTACLES AQUATIQUES D'ASIE DU SUD-EST.
~ UN PETIT PAQUEBOT CONVIVIAL DE 20 CABINES POUR 40 PRIVILÉGIÉS.
~ UN TOUT COMPRIS BLEU VOYAGES (excursions, boissons à table, etc...).
~ UN ACCOMPAGNEMENT FRANCOPHONE.

À PARTIR DE
3 700 €/PERS.
Au départ de Paris - En tout inclus

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :
BLEU VOYAGES
213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON
TÉL. 04 72 76 75 66
www.expeditions-sciencesetavenir.fr

Bleu Voyages

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle

La comète qui enflamme les astronomes

Venue d'un autre système stellaire, 2I/Borissov croise actuellement au plus près de notre Soleil. Une occasion unique pour étudier sa composition et son comportement avant qu'elle ne disparaisse.

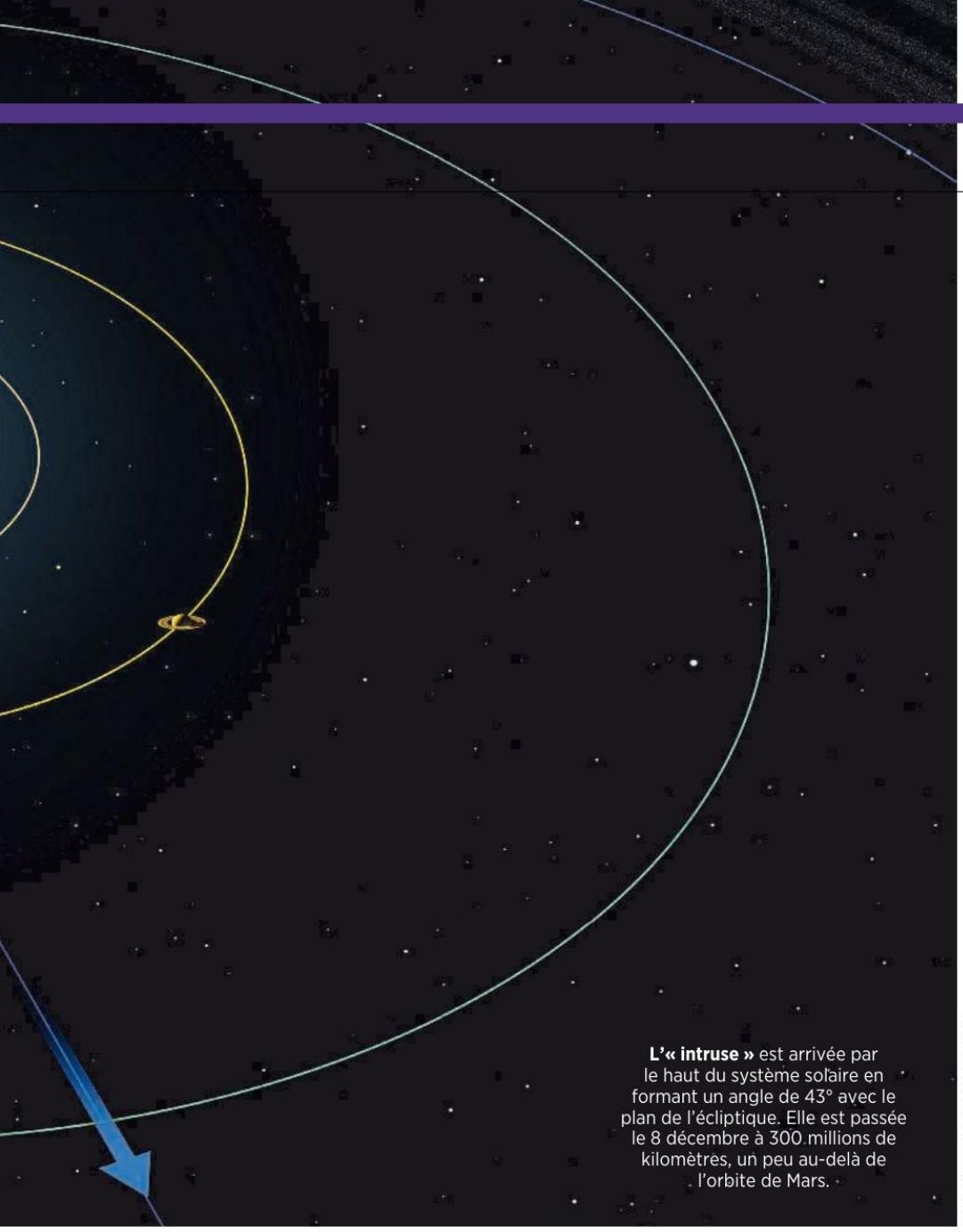
Par Franck Daninos @fdaninos

Des hauts plateaux des Andes au sommet du Mauna Kea à Hawaii, les plus puissants télescopes internationaux ne la quittent pas des « yeux » : la comète 2I/Borissov a été débusquée en août 2019 par l'astronome amateur ukrainien Guennadi Borissov alors qu'elle filait en trombe en direction du Soleil *(lire l'encadré p. 42)*. Elle a atteint le 8 décembre son périhélie, point de l'orbite où elle est la plus proche de notre étoile, à 300 millions de kilomètres environ. Et donc à son maximum de brillance et de luminosité, moment idéal pour étudier sa composition et son comportement. « *Des procédures d'urgence ont été déclenchées un peu partout dans le monde pour que les grands instruments — qu'il faut généralement réserver près d'un an à l'avance — observent au plus vite cette comète* », s'enthousiasme Olivier Hainaut, astronome à l'Observatoire européen austral (Eso). Si cette belle chevelue enflamme à ce point la communauté des astronomes, c'est qu'elle se distingue de toutes les comètes observées jusqu'à présent. Sa trajectoire

ASTROCHIMIE

Comment le cyanogène a terrifié le monde

Le cyanogène, détecté en septembre 2019 dans la comète 2I/Borissov a terrifié le monde en 1910 lorsqu'il a été repéré pour la première fois, dans la comète de Halley. Composé d'azote et de carbone, cette molécule est en effet apparentée à l'ion cyanure, hautement toxique. Alors que la queue de la comète de Halley s'apprêtait à croiser l'orbite de la Terre, des articles de presse laissèrent entendre que notre atmosphère pourrait en être contaminée, tuant toute vie sur Terre ! S'ensuivit une vague de suicides et de vandalisme des États-Unis aux Japon. La quantité de cyanogène susceptible d'affecter notre planète était toutefois infinitésimale et la comète de Halley suscita en fait un magnifique spectacle céleste, avec une queue de 120° visible à l'œil nu.



L'« intruse » est arrivée par le haut du système solaire en formant un angle de 43° avec le plan de l'écliptique. Elle est passée le 8 décembre à 300 millions de kilomètres, un peu au-delà de l'orbite de Mars.

PIERRE CARRIL POUR SCIENCES ET AVENIR

hyperbolique et sa très grande vitesse (150 000 km/h) indiquent en effet, sans le moindre doute possible, qu'elle vient d'une autre étoile que la nôtre et traversera notre système solaire pour ne jamais y revenir ! Du jamais vu dans l'histoire de l'astronomie. « *Nous attentions cela depuis longtemps*, explique Emmanuel Jehin, astrophysicien à l'université de Liège (Belgique). *Grâce à elle, nous pourrons obtenir des informations inestimables sur la formation d'un autre système planétaire. Et savoir ainsi, après comparaison, si les processus qui donnent naissance aux planètes sont les mêmes dans le système solaire que dans d'autres régions de la galaxie.* » Un premier intrus venu du fin fond de l'espace avait certes défrayé la chronique en 2017. Découvert par l'observatoire de l'Haleakala à Hawaii (États-Unis) et nommé Oumuamua, il avait plongé les scientifiques dans la perplexité. Sombre et de forme très allongée, l'objet céleste avait cependant été repéré tardivement, alors qu'il s'éloignait déjà du Soleil et de la Terre (*lire p. 42*). « *Il n'a pu être observé que pendant deux mois*, rappelle Nicolas Biver, chercheur à l'observatoire de Paris. *Alors que 2I/Borissov restera visible jusqu'en septembre 2020, ce qui nous laisse beaucoup de temps pour l'étudier !* » Oumuamua se comportait plutôt comme un astéroïde, autrement dit comme un corps rocheux totalement inactif et ne libérant aucun gaz à la différence des comètes. Ces dernières se repèrent plus aisément dans le ciel et sont beaucoup plus facilement expulsées de leur étoile. En raison des perturbations gravitationnelles notamment. Du fait de l'absence de dégazage, Oumuamua n'a laissé en outre que peu de possibilités de comprendre de quoi il était composé. « *Ce premier visiteur nous a laissés sur notre faim !* », confie Emmanuel Jehin.

Un noyau difficile à mesurer en raison d'une chevelure

2I/Borissov apparaît donc comme une aubaine… et correspond cette fois-ci à ce que les scientifiques attendaient, se comportant comme une comète : elle libère des poussières et des gaz à mesure qu'elle se réchauffe en se rapprochant du Soleil. Cette « chevelure » a cependant rendu très difficile, jusqu'à présent, la mesure précise des dimensions du noyau. Grâce aux données du télescope spatial Hubble, les astronomes établissent néanmoins qu'il serait cinq à dix fois plus petit qu'estimé : « *Un kilomètre*

UNIVERSITÉ DE LIÉGE

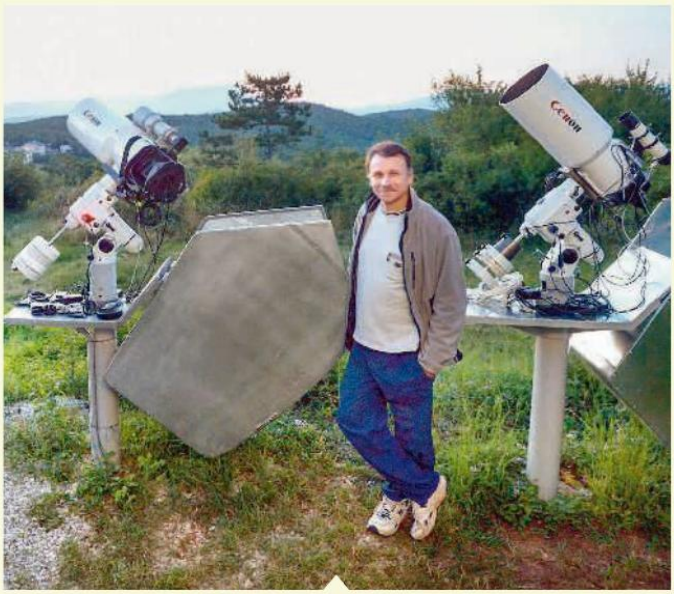
« Grâce à elle, nous pourrons obtenir des informations inestimables sur la formation d'un autre système planétaire »

Emmanuel Jehin, astrophysicien à l'université de Liège, Belgique

DÉCOUVERTES

Guennadi Borissov, chasseur de comètes

Amateur chevronné, Guennadi Borissov avait déjà découvert sept comètes entre 2013 et 2017 avant de débusquer en août 2019 celle qui porte désormais son nom, 2I/Borissov, la première comète extrasolaire de l'histoire ! Avec le même télescope de 65 cm de diamètre, l'ingénieur ukrainien en a même déniché une neuvième, « ordinaire » cette fois. « *Les nombreux amateurs, très motivés, ont toujours joué un rôle important en découvrant 10 à 15 % des comètes chaque année*, rappelle Olivier Hainaut, astronome à l'Observatoire européen austral (Eso). *Cette proportion tend cependant à diminuer avec l'essor des "télescopes de relevés."* » À l'instar de Pan-STARRS installé à Hawaii (États-Unis), ces instruments de plusieurs mètres de diamètre photographient le ciel en profondeur et sont assistés par des systèmes d'analyse détectant tout ce qui bouge d'une image à l'autre. « *Mais pour des raisons mécaniques, ils ne peuvent pas pointer très bas sur l'horizon* », poursuit Olivier Hainaut. Et c'est justement là que Guennadi Borissov a braqué l'été dernier son appareil… découvrant alors la fameuse comète ! « *Les télescopes auraient fini par la repérer, mais nous avons ainsi gagné quelques semaines d'observation.* » En 2022, le télescope américain LSST cartographiera une image entière du ciel toutes les soixante-douze heures, réduisant encore les opportunités pour les « chasseurs de comètes ».



OLEG BRUZGALOV

L'Ukrainien Guennadi Borissov a déniché la comète interstellaire avec un télescope de 65 cm de diamètre qu'il a lui-même fabriqué.

de large, peut-être moins, avance Nicolas Biver. *Les mesures d'émissions thermiques nous en diront bientôt davantage, surtout lorsque la comète s'éloignera du Soleil.* » Des astronomes de l'Académie des sciences de Pologne se sont également risqués à chercher son origine en reconstruisant à rebours sa trajectoire et en analysant les positions des 647 systèmes stellaires les plus proches du Soleil. Leurs calculs les mènent à une étoile binaire dénommée Kruger 60, située à 13 années-lumière de la Terre, où 2I/Borissov serait passée il y a près d'un million d'années !

Mais les vitesses relatives entre l'étoile et la comète restent toutefois très grandes, cette dernière pouvant ainsi venir de bien plus loin encore ! « *Ce sont des résultats préliminaires*, prévient Nicolas Biver. *Plus nous remontons dans le passé, plus les calculs sont ardus et doivent intégrer une kyrielle de paramètres.* »
L'analyse du halo de gaz et de poussières a fourni néanmoins, dès septembre, les premières informations solides sur sa composition. Et notamment la présence du radical cyanogène, détecté par Emmanuel Jehin et ses collaborateurs. « *Cette molécule s'observe dans toutes les comètes du système solaire*, explique le chercheur. *Elle est souvent la première à être décelée, non en raison de son abondance mais parce qu'elle "fluoresce" le plus, ce qui nous a causé un bel émoi, cette*

ESO

Oumuamua a été le premier objet interstellaire observé dans le voisinage de la Terre, en 2017 (vue d'artiste).

UN PRÉCÉDENT

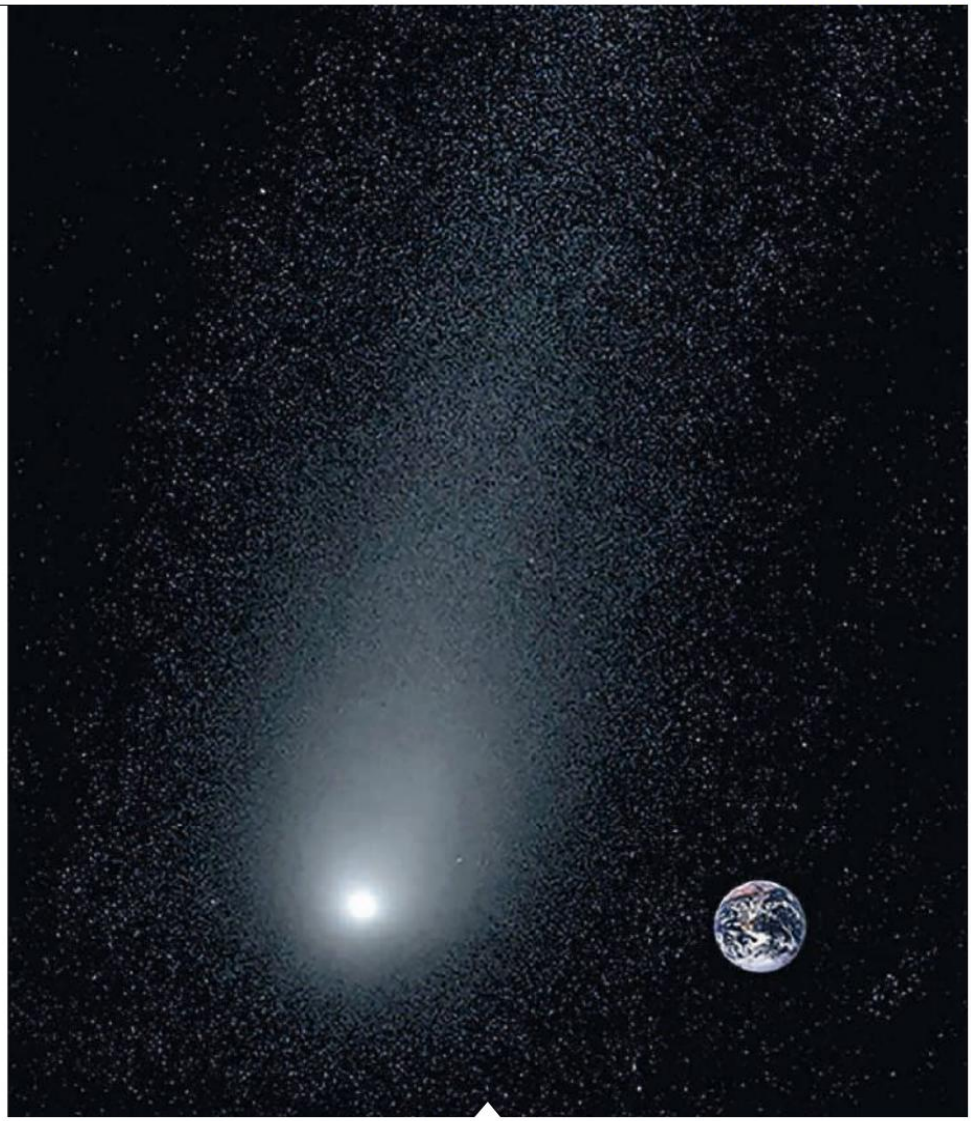
L'étrange « cigare » spatial

Dénommé Oumuamua (« messager » en langue hawaïenne), un premier objet interstellaire a été repéré fin 2017 alors qu'il se trouvait à 30 millions de kilomètres de la Terre. D'abord considéré comme une comète, il a été reclassé parmi les astéroïdes car il ne libérait aucun gaz observable. Sa longueur d'environ 800 mètres et sa forme allongée l'ont fait comparer à un cigare spatial.

première comète interstellaire ayant ainsi un air de famille. »
L'ingrédient majoritaire des comètes connues jusqu'alors étant l'eau, les scientifiques s'attendent à la retrouver à profusion dans 2I/Borissov. Ce que confirment les premiers indices rapportés fin octobre par une équipe de la Nasa qui a détecté des quantités importantes d'oxygène, en provenance sans doute de glaces d'eau nichées dans le noyau. En se réchauffant, ces glaces se transforment en vapeur d'eau qui, sous l'effet des rayons ultraviolets du Soleil, se dissocierait en oxygène et en hydrogène. Mais l'oxygène peut être aussi libéré par des molécules de monoxyde et de dioxyde de carbone, rien n'est donc moins sûr ! Si ces résultats se confirment, les astronomes disposeront ainsi des premières traces d'eau voyageant d'un système planétaire à une autre ! « *Plusieurs équipes, dont la nôtre, cherchent à obtenir des preuves irréfutables et déterminer aussi finement que possible les quantités d'eau éjectées* », note Nicolas Biver.

La grande inconnue des chaînes carbonées

Pour l'heure, 2I/Borissov ressemble beaucoup à toutes les comètes connues depuis des siècles, « *ce qui suggère que les systèmes extrasolaires, et notamment leurs petits corps, se formeraient de façon semblable au nôtre* », relève Emmanuel Jehin. À – peut-être — une différence notable près ! Aucun télescope n'est encore parvenu à déceler la présence de chaînes carbonées, pourtant abondantes dans les comètes « habituelles ». Deux scénarios pourraient ainsi se dégager. « *Soit des mesures plus fines confirmeront cette absence, et nous disposerions alors d'une différence significative,* explique Olivier Hainaut. *Soit son passage au périhélie pourrait entraîner l'expulsion de grandes quantités de gaz dans lesquelles nous détecterons ces molécules carbonées.* »
De façon plus générale, les scientifiques espèrent que ce passage au périhélie libérera assez de matière pour effectuer des analyses isotopiques. Il existe en effet, dans le système solaire, plusieurs isotopes d'un même élément, comme le carbone 12 et le carbone 13, dont les masses diffèrent légèrement. Or que ce soit dans nos comètes, dans le Soleil ou sur Terre, la quantité de carbone 12 est toujours 89 fois plus importante que celle du carbone 13, ce « marqueur chimique » dépendant des conditions qui régnaient au moment de la formation du système solaire il y a 4,5 milliards d'années. Parvenir à mesurer ce type de proportions dans 2I/Borissov donnerait ainsi des informations de première importance sur la nébuleuse primitive qui a engendré la comète ! « *Ces analyses seront malheureusement difficiles à réaliser* », prévient Emmanuel Jehin. Les scientifiques gardent cependant espoir. Il arrive en effet que les comètes se désintègrent lorsqu'elles sont proches du Soleil, multipliant alors par 100 voire davantage leur luminosité ! « *Croisons les doigts pour que 2I/Borissov nous offre dans les semaines qui viennent un joli feu d'artifice et nous révèle tous ses secrets !* » ■



KECK I TELESCOPE/YALE UNIVERSITY

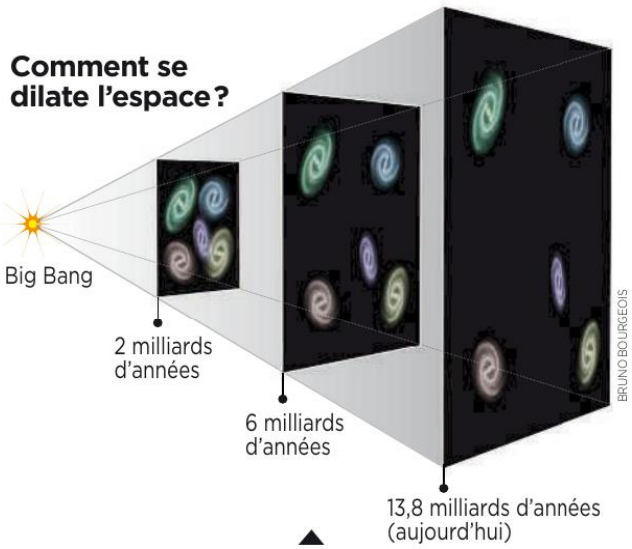
Le télescope Keck I à Hawaii (États-Unis) a capturé le 24 novembre dernier cette image de 2I/Borissov libérant des gaz et poussières au fur et à mesure qu'elle se rapproche du Soleil.

L'expansion de l'Univers fait débat

Pour déterminer l'âge de l'Univers et aussi écrire une histoire plausible du cosmos, il faut d'abord établir à quelle vitesse les galaxies s'éloignent les unes des autres. Or, entre observateurs et théoriciens, l'estimation de ce taux d'expansion ne fait pas l'unanimité.

RIEN NE VA PLUS en cosmologie ! À l'origine de cette tempête qui secoue la discipline, une question simple en apparence : de combien se dilate l'Univers ? Ou, en jargon de spécialistes, quelle est la valeur de la dilatation « H_0 », ainsi nommée en l'honneur de l'astrophysicien américain Edwin Hubble ? Après des années de travail, la fracture entre les diverses estimations semble impossible à combler comme vient de le montrer une étude publiée en octobre 2019 : une équipe de l'EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse) vient en effet de sortir... une nouvelle valeur. Et l'écart atteint cette fois 10 % ! Résultat : plus personne ne sait de combien se dilate l'espace, ce qui est fort problématique ! Car il s'agit ni plus ni moins de l'information la plus importante pour écrire l'histoire du cosmos...

Pour comprendre, il faut remonter au début du XX^{e} siècle lorsque les Américains Vesto Slipher et Edwin Hubble et le Belge Georges Lemaître établissent, grâce à l'observation de galaxies lointaines, que l'Univers est en expansion : il ne cesse « d'enfler » depuis les toutes premières fractions de seconde, les astres s'éloignant depuis les uns des autres, comme les raisins secs dans un gâteau qui gonfle au four. Cette découverte a aussitôt été qualifiée de *« résultat le plus important du XX^{e} siècle »* car l'Univers avait jusqu'alors été considéré comme immuable, pareil à lui-même depuis la nuit des temps.



En raison de l'expansion de l'espace, les galaxies s'éloignent les unes des autres, au cours du temps. Aujourd'hui, le taux d'expansion de l'Univers déduit des modèles cosmologiques diffère de celui indiqué par les observations.

Or constater son expansion signifie que son passé est différent de son présent... et que les physiciens peuvent reconstituer son histoire. La cosmologie était née !

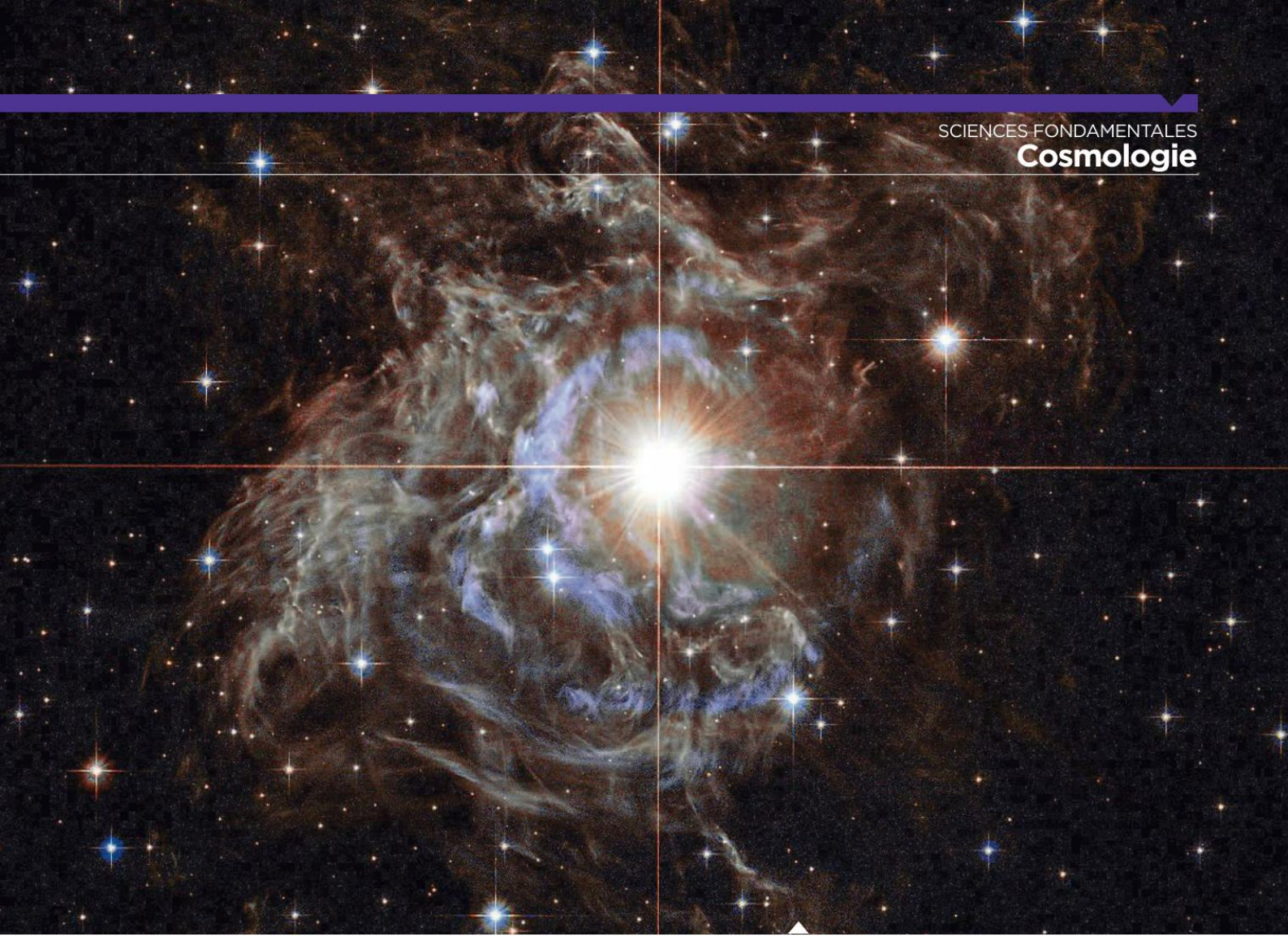
Très vite, connaître ce taux d'expansion est apparu de première importance : il permet en effet de savoir à quelle vitesse s'éloignent deux astres — les fameux raisins secs du gâteau — distants d'un mégaparsec (Mpc), soit 3,2 millions d'années-lumière. Ce taux d'expansion définit le passé de l'Univers et donne aussi, approximativement, son âge. En effet, comme l'expansion a commencé dès les premières fractions de seconde, plus elle aura été rapide, plus vite l'Univers aura atteint sa taille actuelle. Et inversement. Ainsi au gré des estimations, l'âge cosmique varierait entre 12 et 14 milliards d'années. Pour l'heure, prudents, les cosmologistes conservent la valeur de 13,8 milliards d'années obtenue à partir des données des satellites cosmologiques. Mais si l'âge de l'Univers était revu à la baisse, les spécialistes des premières galaxies âgées d'à peine plus de 12 milliards d'années auraient la dure tâche d'expliquer leur formation en un « clin d'œil cosmique » !

Dès le milieu du XX^{e} siècle, avec les moyens observationnels limités de l'époque, les scientifiques ont estimé que chaque Mpc se dilatait à raison de 50 à 100 km/s, ce

J. MOUETTE/IAP-CNRS-SU

« Nous ne parvenons pas à éliminer ce désaccord. Il nous faudra peut-être revoir le modèle cosmologique »

Silvia Galli, chercheuse CNRS à l'Institut d'astrophysique de Paris



RS Puppis, une étoile variable située à 6000 années-lumière de nous dans la constellation de la Poupe, permet de mesurer les distances, indépendamment des modèles cosmologiques, et ainsi d'estimer le taux d'expansion de l'Univers.

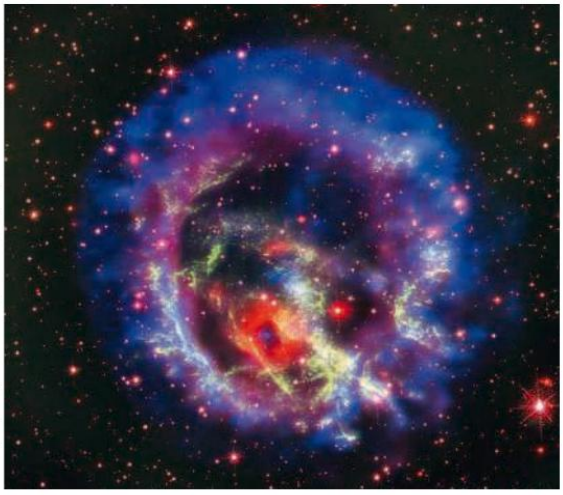
NASA, ESA, AND THE HUBBLE HERITAGE TEAM (STSCI/AURA)-HUBBLE/EUROPE COLLABORATION

qui aboutissait à un cosmos âgé de 10 à 15 milliards d'années. Mais au-delà de l'âge, c'est sur cette base que les astronomes ont bâti le premier modèle cosmologique. Puisque l'Univers est en expansion, à ses toutes premières fractions de seconde, il devait être extrêmement dense et chaud, phase qui a pris le nom de Big Bang. Dès lors, les théoriciens se sont retroussé les manches pour étoffer ce modèle, avec succès, même s'il a fallu compter avec quelques arrangements restés énigmatiques.

Ainsi, pour rendre compte de la vitesse des astres, ce modèle doit supposer l'existence d'une « matière noire », une masse demeurée jusqu'à présent introuvable mais qui intervient par son attraction gravitationnelle. Puis, un nouvel ingrédient est venu encore brouiller les pistes voilà deux décennies : l'énergie noire, une force encore mystérieuse qui dilaterait l'Univers de plus en plus vite. À la base de cette hypothèse, les travaux, en 1998, de deux équipes internationales menées respectivement par Saùl Perlmutter, du Laboratoire National Lawrence-Berkeley, et Adam Riess, de l'université de Berkeley (États-Unis), pour lesquels ils partageront avec Brian Schmidt le prix Nobel de physique en 2011. En observant des supernovae — ces étoiles en cours d'explosion dont la distance peut être facilement déterminée (lire ci-dessous) —, les astronomes eurent une surprise : leur luminosité indiquait qu'elles sont plus éloignées que supposé !

C'est pour affiner ce modèle cosmologique que le satellite Planck a alors été mis en orbite. Objectif : étudier la première lumière de l'Univers et ses infimes contrastes de température, interprétés comme des régions minuscules où la matière devait être alors très légèrement plus dense. Ce sont ces régions qui, par la suite, ont évolué pour devenir des galaxies. Leur taille et leur répartition dans l'espace permettent aux scientifiques de déduire les paramètres cosmologiques (contenu, âge, taux d'expansion...). Et c'est ainsi qu'a été livrée la carte d'identité la plus précise de l'Univers en 2015, affinée en 2018 : l'énergie noire compterait pour 69,2 % de son contenu, la matière noire pour 25,9 % tandis que les astres que nous observons ne représenteraient que 4,9 %. Quant au taux d'expansion actuel (H_0), il a ainsi été estimé à 67,4 ± 0,5 km/s/Mpc, ce qui permet d'attribuer à l'Univers un âge de 13,8 milliards d'années.

C'est ce beau tableau qui vient de s'effondrer, dès que des équipes ont tenté de déterminer par des méthodes observationnelles la valeur de H_0 ! Pour cela, deux valeurs doivent être précisées :



©NASA/CXC/ESO/F. VOGT ET AL.; OPTICAL (ESO/VLT/MUSE & NASA/STSCI)

Les supernovae (à gauche, E0102 dans le petit nuage de Magellan) et l'image démultipliée d'un quasar lointain (à droite, WFI2033-4723) permettent selon des méthodes différentes d'estimer directement le taux d'expansion de l'espace.

ESA/HUBBLE, NASA, SUYU ET AL.

la vitesse à laquelle un astre nous fuit et la distance qui nous sépare de lui. Simple sur le papier, mais en pratique, c'est une autre paire de manches ! Rien de plus difficile en effet que de donner la distance qui nous sépare d'un astre car nul ne peut affirmer si une étoile est peu lumineuse parce que très éloignée ou intrinsèquement pâle. C'est l'équipe d'Adam Riess qui a tiré la première, en observant des étoiles variables (Céphéides) et des supernovae dont la distance peut être facilement déduite. Or leur résultat (74,3 ± 1,42 km/s/Mpc) diffère de manière notable de celui du satellite Planck ! L'Univers serait-il donc plus jeune que prévu ? *« Au début, chacun a réexaminé ses données pour traquer l'erreur éventuelle*, raconte Silvia Galli, de l'Institut d'astrophysique (IAP) de Paris, alors membre de l'équipe de Planck, et qui vient de recevoir le prix Gustave-Ribaud de l'Académie des sciences. *En vain. Aujourd'hui, nous ne parvenons pas à éliminer ce désaccord. Il nous faudra peut-être revoir le modèle cosmologique, même s'il est difficile de changer un modèle qui explique de nombreuses autres observations. Il y a peut-être quelque chose de fondamental que l'on ne comprend pas.* » D'autant plus que d'autres méthodes sont venues semer un peu plus de discorde avant les résultats de l'EPFL portant ainsi l'écart entre les estimations à 10 %. Un record. En résumé, les méthodes qui s'appuient sur le modèle cosmologique actuel avancent une valeur basse. Celles qui ont recours à l'observation, une valeur haute.

L'observation doit toujours l'emporter sur le modèle

En attendant, les théoriciens ont commencé à imaginer comment « replâtrer » le modèle cosmologique pour qu'il rende compte des estimations hautes, partant du principe que l'observation doit toujours l'emporter sur le modèle. *« Nous pouvons imaginer qu'il y ait davantage d'énergie ou d'autres particules au sein de l'Univers primordial, comme un quatrième type de neutrino appelé "stérile"*, estime ainsi Vivian Poulin-Détolle, de l'université de Montpellier. *Mais l'hypothèse selon laquelle l'énergie noire a dû jouer un rôle essentiel dès cette époque pourrait aussi convenir* », poursuit-il. Un défi est lancé aux futures générations d'astrophysiciens. ■

Azar Khalatbari

POUR EN SAVOIR PLUS

Lire notre hors-série n° 200, janvier/février 2020 : « Une nouvelle histoire du cosmos », actuellement en kiosque.

JALONS COSMIQUES

Ces astres qui révèlent leur distance

Pour déterminer la valeur de la dilatation H_0, il faut déterminer deux éléments pour chaque astre : sa vitesse de fuite et la distance qui nous sépare. Or, la grande difficulté des astrophysiciens est de déterminer la distance d'une étoile. Pour cela, il faut à la fois disposer de sa luminosité intrinsèque et de sa luminosité apparente pour estimer son éloignement. Or, la luminosité intrinsèque est rarement connue… sauf pour des astres appelés « chandelles standards », autrement dit constituant de véritables jalons cosmiques. Les Céphéides, des étoiles dont la luminosité varie dans le temps, sont de celles-là. En effet, il existe une relation entre la période de ces étoiles et leur luminosité absolue, comme l'a découvert Henrietta Leavitt, « petite main » au centre d'astrophysique de Harvard (États-Unis). Lorsqu'elle fut pressentie pour le Prix Nobel de 1926… elle était décédée depuis quatre ans déjà ! Les supernovae de type 1A sont aussi des chandelles : elles explosent toujours dans les mêmes conditions indépendamment de leur âge, taille et localisation. Elles émettent donc toujours la même quantité de lumière.

Pourquoi la glace glisse aussi bien

Grâce à un dispositif inédit, des chercheurs ont confirmé l'existence d'un film liquide à la surface de la glace qui explique ce phénomène.

Sur la glace, tout glisse à merveille, comme une « pierre » de curling sur une piste d'eau gelée. Une évidence ? Pas pour les scientifiques. Aussi surprenant que cela puisse paraître, ils comprenaient encore mal pourquoi, justement, la glace glisse aussi bien ! Des études théoriques indiquaient depuis près d'un siècle que les frottements faisaient fondre la partie la plus superficielle de la glace, permettant ainsi à une pierre, des patins ou n'importe quel matériau de « surfer » sur une fine couche d'eau liquide. Mais cette pellicule n'avait jamais pu être étudiée ni même observée en laboratoire, suscitant des interrogations sur son existence même.

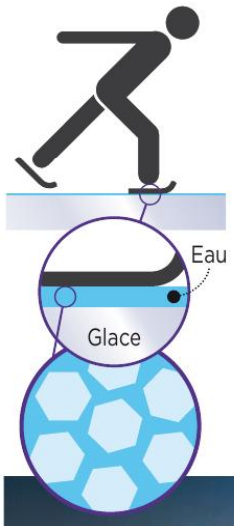
Un simple diapason a permis l'expérience

Les physiciens étaient en outre très intrigués par le fait que l'eau liquide est elle-même un mauvais lubrifiant, contrairement à l'huile par exemple, qui, en raison de sa viscosité élevée, réduit considérablement les forces de friction. Autant de questions ouvertes et de paradoxes que des chercheurs français sont parvenus à résoudre. Ils ont non seulement confirmé l'existence du film liquide mais mesuré aussi ses propriétés. Avec plusieurs surprises à la clé.

« Toute la difficulté était de concevoir une expérience permettant de créer et d'étudier simultanément cette fine pellicule d'eau », explique Lydéric Bocquet, directeur de recherche au CNRS et à l'École normale supérieure de Paris. Pour réussir là où les techniques d'analyses habituelles (microscopie optique, rayons X...) avaient échoué, son équipe a tiré avantage d'un simple diapason semblable à ceux utilisés en musique. *« Sa fréquence de vibration, qui peut être mesurée de façon extrêmement précise, varie en fonction du matériau auquel il est apposé »*, détaille le chercheur. Et elle dépend à la fois de l'épaisseur et des propriétés mécaniques du milieu, comme sa viscosité. En faisant osciller sur deux axes (latéral et perpendiculaire) un diapason appliqué sur la glace, les physiciens ont pu ainsi à la fois générer des frottements et sonder leurs effets. *« C'est comme si on écoutait les forces à l'œuvre sur la glace ! »*, précise Lydéric Bocquet.

Grâce à ce dispositif, ils ont confirmé qu'une couche interstitielle se formait bel et bien au-dessus de la surface gelée. Et constaté qu'elle ne mesurait que quelques centaines de nanomètres d'épaisseur, cent fois moins que ce que les modèles théoriques prévoyaient. *« Lorsqu'on fait du patin à glace, on glisse ainsi sur une pellicule d'eau beaucoup plus fine qu'un cheveu ! »*, relève ainsi l'expert. Les analyses ont également démontré que la viscosité du film était beaucoup plus importante que celle de l'eau usuelle et semblable à celle de l'huile. Loin d'être homogène, celui-ci est constitué en effet d'un mélange d'eau liquide et de débris de glace... *« Seule une partie de la glace se transforme ainsi en liquide*, poursuit Lydéric Bocquet, *ce qui n'avait été pris en compte dans aucun modèle. »* ■

Franck Daninos @fdaninos



Lorsque l'on fait du patin à glace, on glisse sur un film d'eau beaucoup plus fin qu'un cheveu. Ce film, constitué d'un mélange d'eau liquide et de débris de glace, présente une viscosité élevée, tel un lubrifiant *(infographie ci-dessus).*

PLAINPICTURE - BRUNO BOURGEOIS

Tous les mystères de l'Univers à votre portée

Une collection Le Monde

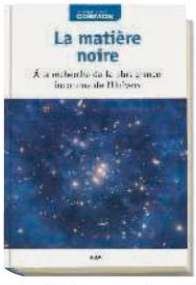
Sommes-nous seuls dans l'Univers ? Voyager dans le temps, est-ce possible ? Et les univers parallèles, existent-ils ? *Le Monde* présente Voyage dans le COSMOS, une collection de livres pour percer les secrets de l'Univers et comprendre les découvertes les plus récentes.

Collection de livres inédits, « Voyage dans le cosmos » vous propose de partir à la découverte des plus grands mystères de l'Univers. Des trous noirs aux amas de galaxies, du Big Bang à la matière noire, et de l'espace-temps quantique aux univers parallèles, ces livres explorent l'espace sidéral de l'infiniment petit à l'infiniment grand. Vous y apprendrez tout des particules élémentaires et de l'origine de la matière ou de l'énergie. Étoiles, nébuleuses, naines brunes, vous y découvrirez les objets cosmiques les plus stupéfiants! La collection explore toute l'histoire du temps et de l'espace, du Big bang à la fin de l'Univers. L'origine du cosmos, la flèche du temps, les grandes structures de l'Univers, ces ouvrages abordent les thématiques les plus passionnantes et associent un texte clair et vivant à de magnifiques photographies, illustrations et schémas explicatifs. À la fois accessible et rigoureuse, la collection « Voyage dans le cosmos » est parrainée par le célèbre astrophysicien franco-canadien Hubert Reeves et réalisée sous le patronage d'un comité scientifique internationalement reconnu, rassemblant des physiciens, des astrophysiciens et des cosmologues distingués par de nombreux prix, dont un prix Nobel. Il s'agit là d'un des projets de divulgation scientifique les plus ambitieux de ces dix dernières années. Une œuvre incontournable qui vous permettra d'appréhender les théories les plus audacieuses et de comprendre les découvertes scientifiques les plus récentes !

▲ www.CollectionCosmosLeMonde.fr

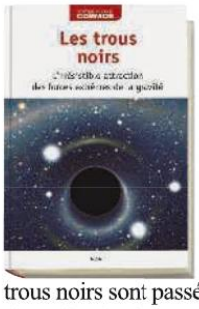
Offre d'abonnement : Recevez vos 3 premiers livres et un cadeau pour 6,98 € seulement. Parution hebdomadaire en kiosques. Le n° 1, *La Matière noire*, 1,99 €, en vente dès le 26 décembre, le n° 2, *Les Trous noirs*, 4,99 €, dès le 2 janvier et le n° 3, *Le Boson de Higgs*, 9,99 € dès le 8 janvier.

Les sujets les plus passionnants !



Volume 1
La Matière noire

Au cours des dernières décennies, on a détecté dans le cosmos la présence d'une nouvelle catégorie de matière, différente de la matière classique. Qualifiée de « noire » car très difficile à détecter, elle est beaucoup plus abondante que son homologue ordinaire. Avec la non moins mystérieuse « énergie noire », elle représente 95 % du contenu total du cosmos. Sa densité est telle qu'elle conditionne l'avenir de l'Univers. Les recherches menées pour identifier sa nature devraient modifier notre compréhension de la réalité.

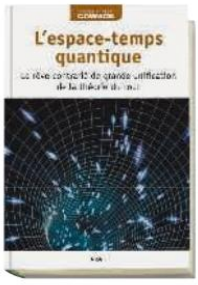


Volume 2
Les Trous noirs

Du temps de Newton déjà, les scientifiques imaginaient des « étoiles sombres » exerçant une attraction si puissante que même la lumière ne pouvait y échapper. Ces derniers temps, grâce notamment aux avancées théoriques de génies tels que Wheeler et Hawking, les trous noirs sont passés du statut d'hypothèse fantaisiste à celui de réalité fascinante. De la façon dont ils déforment l'espace et le temps aux paradoxes scientifiques qu'ils induisent, tout dans les trous noirs semble extrême. Certains murmurent même qu'ils seraient une porte secrète vers d'autres univers.

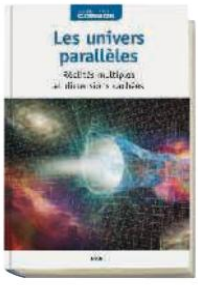
Volume 3
Le Boson de Higgs

L'annonce de la découverte du boson de Higgs, le 4 juillet 2012, est l'une des plus importantes nouvelles du siècle naissant. Non seulement sa détection confirme avec éclat le modèle standard – pilier de notre vision de l'Univers –, mais elle signe également le triomphe du pari tenté depuis plusieurs décennies par les grands accélérateurs de particules. Fort bien, mais quelle est véritablement la fonction du boson de Higgs ? Ni plus ni moins que de doter d'une masse le reste des particules élémentaires.



Volume 4
L'Espace-temps quantique

La physique moderne est tiraillée entre deux maîtres qui ne s'adressent pas la parole ! Tandis que le microscopique est soumis aux règles de la théorie quantique, dans le macroscopique règne la relativité. Et les tentatives visant à découvrir une théorie sous-jacente qui parviendrait à concilier les deux, la célèbre « théorie du tout », ne cessent de se heurter à d'insurmontables obstacles. Quelles sont donc les candidates les plus susceptibles de s'ériger en ce Graal de la science ?

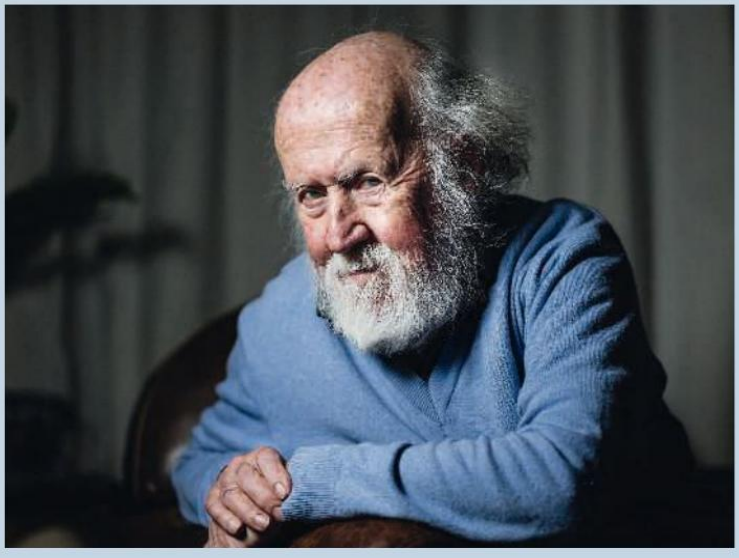


Volume 5
Les Univers parallèles

Une hypothèse étonnante de la science acutelle indique que notre Univers ne représente qu'un élément au sein d'une infinité de possibles. Ce « multivers » adopte différentes formes : l'une des interprétations de la mécanique quantique postule que chaque état possible d'une particule génère une réalité propre. Et la théorie M entrevoit des univers compactifiés dans des dimensions supérieures. Aussi extravagante qu'elle puisse paraître, l'idée de multivers est un des plus grands mystères de la cosmologie.

Volume 6
Les exoplanètes

Pendant des siècles, notre Système solaire était le seul système planétaire connu et la Terre était considérée comme la seule planète abritant la vie. Si l'existence d'autres mondes en orbite autour d'autres étoiles était admise de manière théorique, ils n'ont été détectés que récemment : à ce jour, plus de 2 000 exoplanètes ont été identifiées. La prochaine étape consiste maintenant à trouver une autre Terre.



UNE COLLECTION PRÉSENTÉE PAR HUBERT REEVES

« En nous parlant de l'Univers, la science nous raconte notre propre histoire »

La matière est composée d'atomes ; le Soleil est une étoile ; la Terre ne repose sur rien : ces intuitions géniales que la science confirma ensuite viennent toutes d'une formidable innovation : la méthode scientifique. Les apports décisifs de cette démarche interviennent à partir de la Renaissance. Avec Galilée puis Newton, on découvre que les forces qui gouvernent la matière sont les mêmes sur la Terre que dans le ciel. Les chimistes du XVIIIe siècle confirment ensuite l'existence des atomes et Darwin développe bientôt l'idée de l'évolution. Une révélation mettant en lumière l'importance de la dimension de temps dans la construction du monde. Ce changement de paradigme se confirmera en 1965 avec la découverte du rayonnement fossile radioastronomique émis aux tout premiers instants du cosmos. Confirmant la théorie du Big Bang, cette observation vient appuyer l'idée que l'Univers a une histoire et un âge : environ 14 milliards d'années. Dès lors, le rôle des astrophysiciens, consistant à reconstituer les étapes d'une histoire révolue, devient analogue à celui des préhistoriens. Aujourd'hui, cette histoire se poursuit avec les recherches sur la constitution ultime de la matière (théorie des cordes impliquant l'existence éventuelle d'univers parallèles), de l'espace (topologie multidimensionnelle et nombre de dimensions) et du temps (quelle est sa nature ?). Les dernières découvertes permettent de reconsidérer des questions laissées sans réponse en proposant de nouveaux éclairages : interrogations sur l'avenir de l'Univers en relation avec les propriétés de la matière noire, sur le futur de l'humanité face au développement de l'intelligence artificielle et sur les hypothétiques voyages dans le temps. Les scientifiques qui se livrent à cette recherche écrivent en réalité leur propre histoire !

Des algorithmes réécrivent l'histoire des religions

L'apparition de dieux moralisateurs se serait produite après, et non avant, l'émergence des grandes sociétés complexes, selon de nouvelles recherches faisant appel aux statistiques et à l'analyse mathématique de mégadonnées. Cette nouvelle discipline, la cliodynamique, provoque des remous.

Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud
Illustrations : Isabel Espanol pour Sciences et avenir

Déflagration dans le monde habituellement feutré des spécialistes des religions. Zoroastrisme dans les montagnes de Perse, bouddhisme dans les hautes vallées de l'Inde, judaïsme dans les plaines du Proche-Orient... L'apparition de ces religions censée avoir favorisé la coopération entre les individus ne serait pas à l'origine des grandes sociétés comme les chercheurs pouvaient le penser jusqu'alors... mais c'est l'inverse qui serait vrai ! Les « grands dieux moralisants » « *moralizing high gods* » en anglais — les premiers à imposer une distinction claire entre le bien et le mal — seraient plutôt apparus une fois que ces sociétés avaient atteint un certain degré de développement et n'en seraient ni la condition préalable ni le principal facteur d'expansion. De quoi bouleverser quelques idées reçues ! Du moins à en croire un vaste travail codirigé par le scientifique russo-américain Peter Turchin, 62 ans, enseignant au département de biologie évolutive et au département d'anthropologie de l'université du Connecticut (États-Unis) publié en mars 2019 dans la revue *Nature*. Une étude d'autant plus percutante que la méthode utilisée est pour le moins innovante. C'est en effet au moyen d'algorithmes et de modèles mathématiques que le spécialiste et son équipe internationale constituée d'une centaine de mathématiciens, informaticiens, historiens, anthropologues, archéologues, économistes et sociologues sont parvenus à ces conclusions.

Peter Turchin est passé maître dans l'art du lancer de pavé numérique dans la mare. Le chercheur, spécialiste des mégadonnées (*big data*), s'est en effet fait connaître en 2003 en fondant une nouvelle discipline : la cliodynamique, nommée d'après Clio, la muse grecque de l'Histoire. Cet ancien biologiste cherche ainsi à savoir si des lois universelles déterminant le comportement et l'évolution des sociétés humaines peuvent ▸

UNIVERSITÉ D'OXFORD

« L'analyse d'une multitude de variables fait apparaître des faits impossibles à déceler par un seul spécialiste »

Pieter Francois, coordinateur de recherche du Laboratoire d'évolution culturelle de l'université d'Oxford (Royaume-Uni), directeur de Seshat Global History Databank

être formulées par l'analyse de mégadonnées. Il a ainsi utilisé de premiers modèles voilà treize ans pour tenter de quantifier les facteurs associés à l'essor et au déclin des grands empires, et a présenté ses résultats dans un livre alors très remarqué : *War and Peace and War : the Rise and Fall of Empires*, « Guerre, paix et guerre : l'ascension et la chute des empires », non traduit en français (*lire* S. et A. *n° 708, février 2006*).

Des faits souvent passés sous les radars

Cette fois-ci, le spécialiste et son équipe se sont attelés à la question de l'émergence des grands dieux omniscients. Pour ce faire, ils ont mis en place un dispositif inédit par son ampleur en exploitant une immense base de données nommée Seshat Global History Databank *(lire l'encadré p. 54)*. *« On y trouve rassemblées des informations préhistoriques et historiques collectées auprès d'une centaine de chercheurs du monde entier*, explique son directeur, Pieter Francois, coordinateur du Laboratoire d'évolution culturelle de l'université d'Oxford (Royaume-Uni). *Ces contributions vont du début du néolithique, il y a 12 000 ans, jusqu'aux époques les plus récentes.* » Des informations préalablement transformées en données quantifiables exploitables. *« Cette science des données est une nouvelle façon d'aborder les sciences humaines*, poursuit l'anthropologue. *Seshat permet d'analyser une multitude de variables faisant ainsi apparaître des faits souvent passés sous les radars car ils sont impossibles à déceler, gérer et manipuler par un seul spécialiste* », poursuit-il.

Ce sont en l'occurrence des milliers de données issues de 414 sociétés provenant de 30 régions du monde qui ont été échantillonnées et codées. Toutes portent sur une très large période cou-

INTERVIEW

JEAN-PAUL DEMOULE
PROFESSEUR ÉMÉRITE DE PROTOHISTOIRE EUROPÉENNE À L'UNIVERSITÉ PARIS-I PANTHÉON-SORBONNE*

« L'émergence du pouvoir a aussi à voir avec le contrôle du surnaturel »

Même s'il trouve la démarche des chercheurs anglo-saxons intéressante, l'historien rappelle que l'approche est très différente en France où les sciences humaines sont plus matérialistes.

Que pensez-vous des grandes analyses historiques transversales, à l'instar de celle de Peter Turchin faisant appel à l'analyse de mégadonnées ?
Ces analyses thématiques informatisées sont intéressantes et connaissent un succès certain aux États-Unis où elles tentent d'embrasser l'ensemble des sociétés du monde pour en donner une explication ou y déceler l'existence de cycles. Selon les tenants de ces approches, l'ascension et la chute des sociétés humaines — ou l'apparition des grands dieux — pourraient être expliquées par une poignée de variables et quelques équations différentielles. L'approche est très différente en France, où les sciences humaines sont plus matérialistes. Ce qui entraîne une déconsidération de ces larges synthèses comparatistes. N'oublions pas non plus que la société américaine baigne dans le religieux, cet environnement devant peser dans le milieu de la recherche en sciences humaines.

OLIVIER ROLLER/DIVERGENCE

Est-ce à dire qu'il n'existe pas de questionnement autour de l'avènement de ces dieux dans l'anthropologie française ?
La question n'y est pas abordée de la même façon. Un archéologue comme Jacques Cauvin a situé l'avènement des grands dieux au cours du néolithique, il y a environ 10 000 ans, et en explique l'origine par un changement de perspective chez les habitants du Levant, les Natoufiens. Au lieu de se sentir immergés dans la nature, comme l'étaient jusque-là les peuples de chasseurs-cueilleurs, les Natoufiens ont voulu en prendre le contrôle. C'est à cette époque qu'auraient commencé à apparaître de petites figurines, des divinités en devenir, symbole de cette révolution des esprits. L'anthropologue Maurice Godelier (EHESS) a lui aussi abordé cette question, mais sans arrière-fond religieux.

Quand selon vous apparaît l'idée de grands dieux ?
Les religions dites du salut reposent sur la notion d'un dieu unique qui récompense ou punit. Pour moi, ce dieu unique émerge avec la notion impériale qui véhicule l'idée d'un personnage masculin ayant pour vocation de régner sur

« Ces recherches sous-entendent qu'une poignée de variables expliquerait le développement des sociétés humaines »

D. MOHTAROPOULOS/GETTY IMAGES/AFP

La richesse de certaines tombes contenant des objets précieux témoigne de la naissance de la hiérarchie sociale au sein des premières sociétés complexes, comme ici à Varna, en Bulgarie (-4500 ans avant J.-C.).

toute la Terre. Une idée du monothéisme apparaît en Égypte avec Akhenaton (1370-1339 avant J.-C.), au moment de la plus grande extension de son empire, puis réapparaît avec le zoroastrisme, quand l'empire perse est le plus vaste du monde (VIe siècle avant J.-C.). Je mets en relation l'extension politique et l'apparition des grands dieux. Ainsi quand l'empereur de Rome Constantin (272-337) se convertit au christianisme, il devient surtout le chef de l'Église, représentant le « vrai » dieu sur Terre. Car l'émergence du pouvoir a aussi à voir avec le contrôle du surnaturel. Les panthéons hiérarchisés se sont développés en parallèle de la montée de sociétés de plus en plus hiérarchisées, pour finir avec le monothéisme et un dieu unique.

Qu'appelle-t-on une « société complexe » ?

Il n'existe pas de définition précise, mais je dirais que l'on parle de sociétés complexes dès lors que celles-ci ont atteint une certaine taille et que l'on peut y mesurer des inégalités sociales. Elles émergent au néolithique et c'est surtout dans les nécropoles qu'elles ont pu être évaluées. Un des exemples les plus frappants est le cimetière de Varna, en Bulgarie, vers 4500 avant J.-C. Parmi les 400 sépultures, certains défunts ne possédaient qu'une épingle en os, alors que d'autres emportaient jusqu'à un kilo d'objets en or ! À la même époque, sur le littoral atlantique, quelques chefs utilisaient le travail d'un très grand nombre d'individus pour se faire édifier d'énormes tombeaux mégalithiques. Ces inégalités ont continué à se développer dans toutes les sociétés de l'âge du bronze (3000-1000 avant J.-C.) et de l'âge du fer (800-Ier siècle avant J.-C.).

Si les sociétés restreintes n'ont pas eu la nécessité de faire appel à des grands dieux, vers le VIIIe siècle avant J.-C., des doctrines moralisantes semblent apparaître…

C'est une théorie nommée « l'âge axial » et qui a été développée dès 1949 par le philosophe Karl Jaspers. L'idée principale est que l'on aurait vu émerger au tournant du Ier millénaire avant notre ère (vers 700 avant J.-C.), simultanément et apparemment sans liens, la philosophie grecque, le zoroastrisme en Iran, le bouddhisme en Asie, le jaïnisme en Inde, le judaïsme en Israël ou encore le confucianisme et le taoïsme en Chine, etc. Plus une société devenait importante, et plus elle aurait eu besoin de religions morales pour que ses membres continuent à coopérer à grande échelle. L'étude dirigée par Peter Turchin confirme cette théorie mais montre qu'une partie de ces « grands dieux » seraient apparus bien plus tôt. Mais elle confirme que les systèmes étatiques ont besoin de sociétés divines structurées à leur image — et punitives — alors que les sociétés les plus simples sont « prosociales » avec un sens de la solidarité et de la coopération.

Propos recueillis par B. A.

* Membre honoraire de l'Institut universitaire de France. Il est à l'origine de la création de l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) qu'il a présidé de 2001 à 2008.

vrant les 10 000 dernières années, soit du néolithique à la révolution industrielle du XIXe siècle. « *À l'intérieur de ce corpus, nous avons sélectionné 12 régions et 51 variables que nous avons regroupées en "caractéristiques de complexité" : taille de la population et du territoire politique, types d'échanges économiques, modes de gouvernance, existence ou non d'une bureaucratie, d'une administration territoriale, d'une hiérarchie, d'une armée, etc.* », précise Peter Turchin.

Autant d'éléments qui ont « nourri » les algorithmes comparant les sociétés avant et après l'émergence des grands dieux moralisateurs. Résultat : la transition vers ces dieux se serait produite après que les sociétés sont devenues complexes et que leurs populations ont dépassé le million d'individus. « *Dans presque toutes les régions du monde pour lesquelles nous possédons des données, ces dieux moralisateurs, qui se soucient de savoir si nous sommes bons ou mauvais, n'ont pas été une condition préalable au développement et à la cohésion des sociétés à grande échelle*, déclare Peter Turchin. *Les grandes sociétés apparaissent d'abord, puis se dotent de dieux majeurs.* » Autrement dit, le respect de codes moraux découle de liens sociaux déjà existants. Comme s'il était devenu nécessaire d'accentuer cette cohésion et de la déléguer à un pouvoir divin.

PETER TURCHIN

« La diversité des systèmes religieux de notre échantillon mondial permet de tirer des conclusions plus globales »

Peter Turchin, enseignant au département de biologie évolutive et au département d'anthropologie de l'université du Connecticut, aux États-Unis, principal auteur de l'étude

Ainsi, c'est en Égypte que serait attestée l'apparition la plus précoce d'une des toutes premières divinités moralisantes, plus précisément sous la deuxième dynastie (vers 2800 avant J.-C.), au temps des premiers pharaons. Il s'agit de Maât, la divinité de la Vérité et de la Justice, qui a pour attribut une grande plume blanche, symbole de rectitude. Une plume que l'on retrouve sur la balance où s'effectuait la « pesée des âmes », le rite de passage des défunts dans l'au-delà. Avant que d'autres dieux moralisants n'apparaissent en Eurasie, à l'instar d'un Shamash, le dieu-soleil du panthéon mésopotamien dans l'imposant empire d'Akkad (2400-2200 avant J.-C.) ou encore le dieu-soleil Hatti Istanu, dans l'empire Hittite, en Anatolie (vers 1500 avant J.-C.). Puis est venue la grande diffusion des religions transnationales commencée au cours du Ier millénaire avant J.-C. avec le zoroastrisme, le bouddhisme ou encore le judaïsme, période parfois qualifiée « d'âge axial » *(lire l'interview p. 53)*.

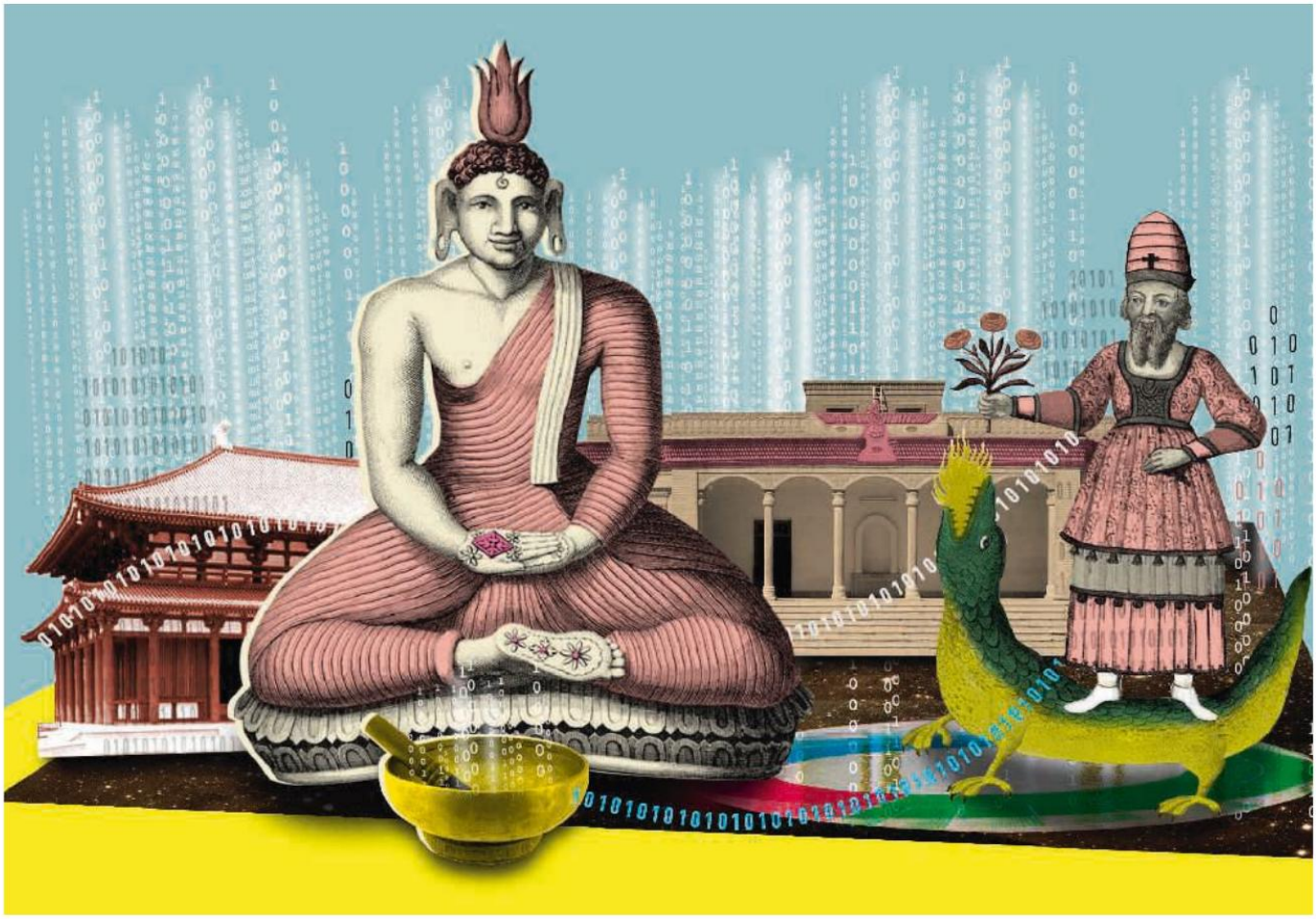
D'autres formes de croyance dans les petites sociétés

« *La diversité des systèmes religieux représentés dans notre échantillon mondial permet de tirer des conclusions plus globales, ce qui n'avait pas pu être fait jusque-là* », estime Peter Turchin. Ces travaux ont également permis de vérifier que des petites sociétés traditionnelles de chasseurs-cueilleurs n'ont pas eu la nécessité de faire appel à ces divinités moralisantes. « *Ces sociétés restreintes, gravitant autour d'un monde surnaturel d'esprits de la nature, ont eu recours à d'autres formes de croyance pour maintenir leur cohésion sociale par le biais de cérémonies et de rituels (prières, sacrifices)*, ajoute Pieter François. *Cela pour se protéger d'éventuelles calamités, mais aussi consolider les liens au sein de la tribu où tous se*

INTERDISCIPLINARITÉ

Seshat : une banque des données historiques mondiales

Seshat — du nom de la divinité égyptienne de la connaissance — est une vaste banque de données issues de plusieurs centaines de milliers de sources, fondée en 2011 par Pieter Francois et Harvey Whitehouse, de l'université d'Oxford (Royaume-Uni), et Peter Turchin de l'université du Connecticut (États-Unis). Elle est nourrie en permanence par une centaine de chercheurs, dont les informations sont traitées par une quinzaine de « post-docs », de jeunes diplômés titulaires d'un doctorat. Ce projet interdisciplinaire a été conçu pour tester des théories historiques fondées sur la comparaison de données provenant de sociétés diverses dans le temps et dans l'espace à travers leur croissance économique, démographie, extension territoriale, existence d'écriture, évolution agraire, etc. « *En tant qu'égyptologue, ma participation a ainsi consisté à étudier l'agriculture pharaonique (productivité, etc.) dans un vaste cadre comparatif avec d'autres sociétés préindustrielles* », explique Juan Carlos Moreno, directeur de recherche au CNRS. Les données de Seshat pourraient bientôt être accessibles en ligne à l'ensemble des spécialistes à travers le monde.



ISABEL ESPAÑOL POUR SCIENCES ET AVENIR

connaissaient. Régnait alors une sorte d'auto-contrôle, à l'inverse des sociétés complexes où l'on pouvait enfreindre les règles sans être repéré. Raison pour laquelle des divinités pouvant "voir dans l'esprit des gens" sont alors apparues. » De grands dieux qui inspiraient la crainte, donc.

Une méthode très imparfaite pour certains chercheurs

Les conclusions de cette vaste étude sont cependant loin de faire l'unanimité. Tout d'abord parce que *« la plupart des historiens ne s'intéressent pas à la science des données »*, déplore Peter Turchin, certains spécialistes étant très sceptiques quant à l'approche algorithmiques des disciplines historiques. *« Notre plate-forme n'est pas destinée à remplacer les recherches historiques mais à constituer un apport complémentaire »*, se défend Pieter François. *« Il existe aussi une vieille méfiance entre les sciences dites dures et les sciences humaines, sans oublier que ce type d'approche recherchant des lois générales sur les sociétés était déjà l'objectif de certains historiens du XIXe siècle. Des méthodes depuis longtemps décriées et considérées comme profondément imparfaites »*, fait remarquer l'archéologue Jean-Paul Demoule, professeur émérite de protohistoire européenne à l'université Paris-I *(lire l'interview p. 53)*. D'autres chercheurs en revanche la trouvent prometteuse. *« Les tentatives de comparatisme entre sociétés sont une discipline en plein essor dans l'univers anglo-saxon, lequel est sans doute plus sensible à cette façon transversale d'analyser le monde que nos systèmes de recherche plus traditionnels »*, tempère Juan Carlos Moreno, égyptologue, directeur de recherche au CNRS, l'un des rares chercheurs en France à avoir collaboré à Seshat.

Quoi qu'il arrive, Peter Turchin et ses collègues n'ont pas fini de passer « à la moulinette » des *big data* de questions sur le comportement des sociétés humaines tant leur liste est longue ! Ils tenteront ainsi prochainement de savoir si, à l'avenir, les croyances religieuses vont plutôt décliner ou, au contraire, être remplacées par d'autres formes de surveillance… Un nouveau dieu tout algorithme ? ■

Une vaste cavité dans la pyramide de Kheops

Le vide détecté par la mission ScanPyramids au cœur du monument est encore plus important que supposé. Et si cette cavité abritait le corps du pharaon? L'hypothèse est désormais émise.

Le mystère s'agrandit ! Après la découverte en 2017 d'un immense « vide » dans la Grande Pyramide, à Gizeh près du Caire, en Égypte, la mission ScanPyramids vient de livrer ses derniers résultats. Et selon de nouvelles mesures, la cavité détectée au cœur de l'édifice de 4200 ans serait plus longue que les 30 mètres estimés jusque-là. La présence de ce « grand vide » au-dessus de la Grande Galerie, entre 60 et 70 m de hauteur, avait été révélée grâce à l'utilisation d'une technologie non invasive, la muographie. Celle-ci permet de « radiographier » — comme le feraient des rayons X — les monuments en profondeur en détectant les muons, des particules cosmiques, qui les traversent (*lire* S. et A. *n° 850, décembre 2017*). Depuis deux ans, les équipes de ScanPyramids — qui comprennent des chercheurs du CEA — n'ont cessé de préciser et affiner les mesures du *Big Void*, le « grand vide ».

Pour ce faire, des plaques à émulsion chimique, « pièges » à muons, ont été positionnées dans de nouveaux emplacements à l'intérieur du monument haut de 139 m. Le long de la Grande Galerie, ainsi qu'au-dessous et au-dessus de la chambre du roi. Les mesures ont également été poursuivies à l'aide de deux dispositifs déjà mis à contribution : un scintillateur à muons du KEK Institute, l'équivalent japonais du CEA, installé dans les parties basses de la pyramide, lui aussi destiné à capter les particules cosmiques ; et deux télescopes à muons du CEA, déployés à l'intérieur de la Grande Galerie. Autant de technologies d'avant-garde dont les résultats indépendants se sont tous recoupés.

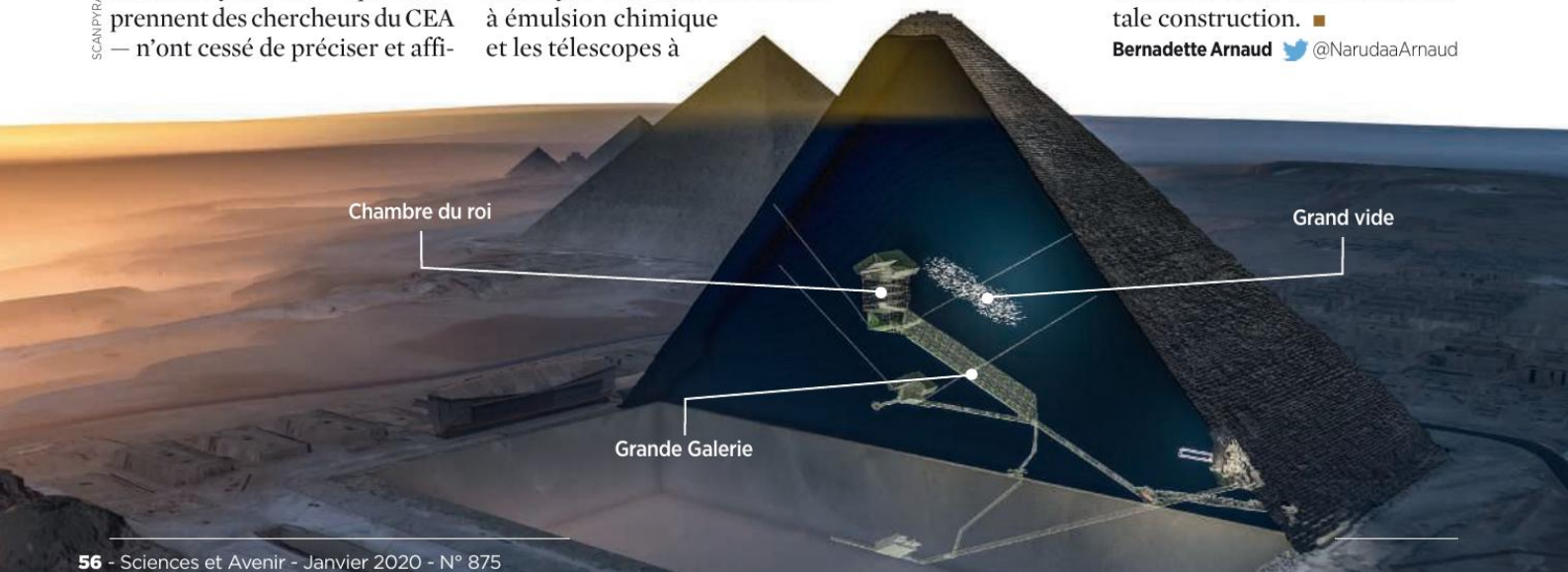
L'analyse des nouveaux films à émulsion chimique et les télescopes à gaz du CEA ont corroboré l'existence de ce vide au-dessus de la Grande Galerie. Ces résultats ont surtout apporté de nouvelles informations. « *La longueur de la cavité est en réalité de 40 mètres au minimum et probablement d'un seul tenant !* », déclare Mehdi Tayoubi, codirecteur du projet franco-égyptien conçu par l'université du Caire et l'Institut HIP (Heritage, Innovation, Preservation). Les scientifiques sont-ils sur la piste d'une découverte d'une ampleur exceptionnelle ?

Les investigations vont se poursuivre

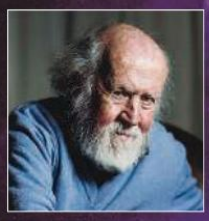
Très réservé jusque-là sur les premières annonces, l'égyptologue égyptien Zahi Hawass, ancien ministre des Antiquités, a récemment pris de court les équipes de ScanPyramids en déclarant que « *le corps de Kheops pourrait effectivement être caché dans ce vide* », entérinant d'un coup l'ensemble des résultats ! Selon ce spécialiste, toujours très influent, la pyramide renfermerait beaucoup de vides cachés et l'un d'entre eux « *pourrait avoir contenu le corps longtemps perdu de l'ancien pharaon* ». ScanPyramids va poursuivre ses investigations en pénétrant encore plus profondément au sein des 2,6 millions de mètres cubes de la monumentale construction. ■

Bernadette Arnaud @NarudaaArnaud

Long d'au moins 40 m, le vide est probablement d'un seul tenant d'après les dernières analyses.



SCANPYRAMIDS



Une collection

Le Monde

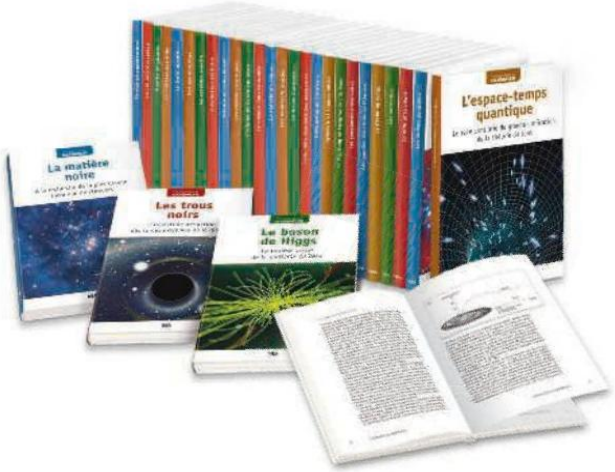
Présentée par

HUBERT REEVES

Percez les secrets de l'Univers

Voyage dans le COSMOS

Une collection essentielle pour mieux comprendre les mystères de l'Univers : les trous noirs, le boson de Higgs, l'espace temps-quantique, les univers parallèles…



LE VOLUME 1

1,99 €

SEULEMENT

DÈS LE JEUDI 26 DÉCEMBRE CHEZ VOTRE MARCHAND DE JOURNAUX

et dès maintenant sur **www.CollectionCosmosLeMonde.fr**

Document non contractuel
RCS B 533 671 095

SUPERCALCULATEUR Ordinateur dont la vitesse de calcul permet d'effectuer des milliards d'opérations à la seconde.

MÉCANIQUE DES FLUIDES Branche de la mécanique étudiant le comportement des fluides (air, eau…) au repos et en mouvement.

MODÉLISATION Simplification d'un système complexe afin de l'étudier et d'en faire varier les différents paramètres.

Le réchauffement climatique en équations

Météo France et le CEA viennent de rendre leurs simulations numériques sur le climat pour le prochain rapport du Giec. Leurs nouveaux modèles affinent les prévisions. Et rendent plus urgent que jamais l'abandon des énergies fossiles.

Par Loïc Chauveau @Loic_Chauveau

LA TERRE EN PETITS CUBES. Découper les océans, l'atmosphère, les continents en boîtes. Y reconstituer les courants, la température, la salinité des mers, les vents, les nuages, la température et l'humidité de l'air, la respiration des végétaux. Y ajouter un redoutable ingrédient : les rejets de gaz à effet de serre. Puis estimer ce qui arrivera si rien n'est fait, ou trop peu, pour réduire la hausse mondiale des températures. C'est en compilant toutes ces données que les ingénieurs de Météo France et de l'institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL), à Paris, viennent de rendre, les premiers parmi leurs pairs internationaux, les résultats de leurs simulations numériques qui alimenteront en 2021 le prochain rapport du Giec, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Et leurs résultats sont implacables : ils prévoient une hausse de la température mondiale de 6 à 7 °C par rapport au XIXe siècle en cas d'inaction. Un monde invivable ! Ce résultat a demandé 300 millions d'heures de travail sur les supercalculateurs du CEA et du CNRS côté IPSL, et 200 millions d'autres heures sur ceux de Météo France. « *Grâce à la puissance croissante des ordinateurs la simulation du climat progresse, en utilisant des modèles toujours plus aboutis* », résume David Salas y Media, chercheur à Météo France. Car les lois de la thermodynamique et de l'écoulement des fluides ne sauraient représenter seules le « chaos » extraordinairement complexe des mouvements d'air autour de la planète, des échanges entre les océans, l'atmosphère et les sols. « *Un modèle de climat consiste donc à représenter ces processus physiques sous forme d'équations mathématiques*, définit la climatologue Pascale Braconnot, directrice de recherche au CEA. *D'où l'importance de créer des "cases" de 50, 100 ou 250 kilomètres de côté où l'on peut faire des bilans énergétiques en les reliant entre elles.* » Ainsi, les 20 modèles qui « tournent » actuellement dans le monde — dont les deux français — découpent l'atmosphère en 91 niveaux, de la surface à la stratosphère ; les océans comptent 75 niveaux et la surface de la Terre est striée de 362 « boîtes » par degré de longitude et de 294 en latitude (*voir l'infographie ci-contre*).

+7°C

La hausse des températures mondiales en 2100 par rapport au XIXe siècle si aucune action n'est menée.

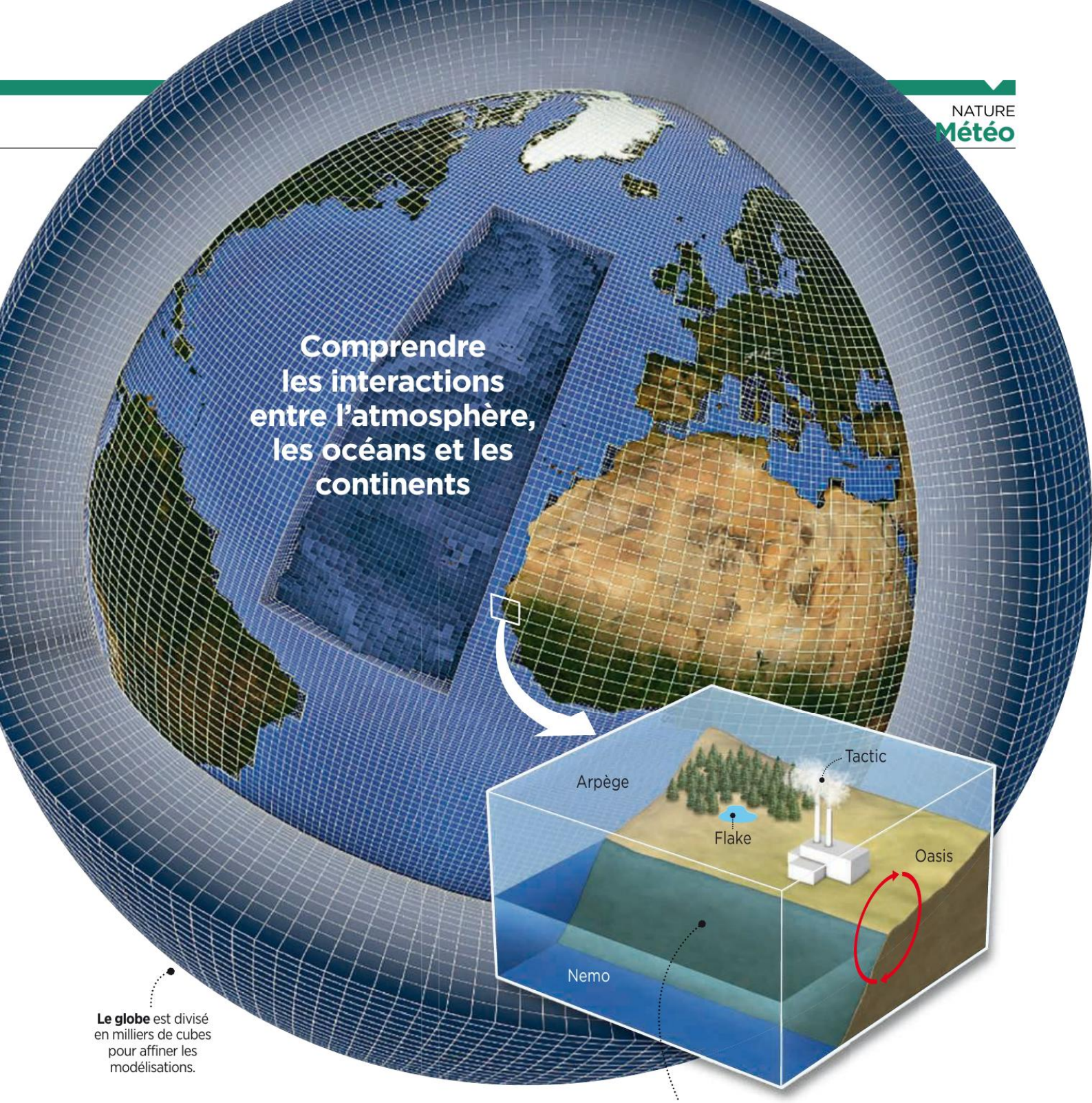
CONTEXTE

Le centre de modélisation climatique français s'intègre dans un ensemble de 20 centres mondiaux. Non concurrents, tous échangent leurs méthodes et résultats au sein du programme d'intercomparaison des modèles de climat (CMIP). La sixième phase en cours a démarré en 2014. Ce CMIP6 servira de base au 6e programme d'évaluation du Giec prévu en 2021.

Réduire le maillage pour mieux calculer

Le moteur commun à ces trois éléments, c'est le Soleil. La répartition de sa chaleur, plus intense à l'équateur qu'aux pôles, produit les courants océaniques et les vents. Mais la nature de ces trois milieux est évidemment très différente. Les océans sont physiquement les plus stables : la densité de l'eau ne varie que de quelques centièmes dans ces masses qui recouvrent 70 % de la surface du globe. En outre, ils redistribuent l'énergie solaire

CEA/CNRS/MÉTÉO-FRANCE 2019 - RÉALISATION ANIMEA.STUDIO - INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS



Le globe est divisé en milliers de cubes pour affiner les modélisations.

Dans chaque cube, plusieurs paramètres sont pris en compte par les modèles : Arpège pour l'atmosphère, Oasis pour le couplage océan-terre-atmosphère, Nemo pour l'océan, Tactic pour les émissions d'aérosols, Flake pour les lacs et rivières.

selon des courants, comme le Gulf Stream pour l'Atlantique Nord. Il n'en est pas de même pour l'atmosphère et les continents. Leurs mouvements restent difficiles à paramétrer précisément. D'où l'intérêt du découpage en « cubes » : il permet de réduire les calculs à des zones restreintes plutôt que d'appréhender globalement une machinerie complexe. Quant aux continents, ils présentent une autre forme de difficulté : l'extrême diversité des reliefs, glaces, formes de végétation teneurs en eau... Sans compter qu'atmosphère, océans et continents interagissent sous des formes là encore très diverses, notamment dans les cycles cruciaux de l'eau et du carbone. C'est pourquoi ces trois modèles sont associés. Les échanges d'eau entre les océans, l'atmosphère et les sols, l'évapotranspiration des plantes, la chimie atmosphérique et les aérosols sont ainsi intégrés. Certains échanges peuvent être mesurés, comme la capacité d'absorption du carbone par les océans ou le cycle de l'eau. D'autres paraissent encore hors de portée de toute quantification comme ces composés chimiques qui influent sur des phénomènes physiques. *« Arrivera-t-on un jour à évaluer l'importance du sulfure de diméthyle (DMS) émis par le phytoplancton dans la condensation*

Les images satellite et autres données rentrées dans un supercalculateur permettent aux prévisionnistes de Météo France, à Toulouse, d'établir des scénarios sur l'évolution probable du temps pour la saison à venir.

ADAPTATION

Pourquoi Météo France s'est lancé dans la prévision saisonnière

Climat à long terme ou météo pour connaître le temps qu'il fera cette semaine : ce sont les mêmes modèles qui tournent. Mais leur utilisation est très différente. *« Pour la prévision à quelques jours, seule ce que nous appelons la "dynamique atmosphérique" nous intéresse. Nous pouvons nous passer du compartiment océanique qui a une variation saisonnière »*, explique David Salas y Media, chercheur à Météo France. Ainsi, dans le cas d'une dépression nord-atlantique, les prévisionnistes de Météo France choisissent un scénario probable d'évolution du temps à partir des observations de l'atmosphère au-dessus de l'Océan, qu'ils croisent avec des données enregistrées d'événements similaires antérieurs. Ils les confrontent ensuite avec les avis des autres services météorologiques mondiaux pour émettre un bulletin final. Mais bien que des satellites dédiés à cette fonction aient été mis en service dans les années 1980, la prévision fiable n'excède toujours pas 5 jours, reste aléatoire à 10 jours et impossible au-delà. *« L'atmosphère est trop chaotique pour que nous puissions décrire son état à une échéance aussi longue »*, assure David Salas y Media. Météo France s'est pourtant lancée en 2017 dans la prévision saisonnière. *« On se rapproche ainsi de la simulation climatique puisque déterminer le climat moyen du trimestre à venir impose de tenir compte, cette fois, des interactions de l'atmosphère avec l'océan »*, explique Jean-Michel Soubeyroux, à la direction de la climatologie de Météo France. Résultat : la prévision est plutôt fiable quand les variations océaniques sont régulières et saisonnières comme celles de l'équateur pour le déclenchement des moussons ; elle est en revanche faible pour les zones tempérées. Météo France publie donc des avis donnant des probabilités qu'une saison à venir soit normale, plus froide ou plus chaude. Ainsi, cet hiver sera plus doux que la normale.

Pourquoi se lancer dans un exercice aussi périlleux ? Parce qu'il est aussi économiquement utile. *« Les producteurs d'hydroélectricité veulent anticiper le remplissage de leurs barrages, par exemple, ou les agriculteurs souhaitent de l'aide pour leur stratégie de semis d'automne ou de printemps »*, détaille Virginie Schwartz, nouvelle P-DG de Météo France. Au cours de la prochaine décennie, l'établissement public entend approfondir les services aux divers secteurs économiques et les aider ainsi à s'adapter aux changements climatiques. *« L'amélioration de la précision de notre modèle Arome grâce à l'arrivée en 2021 d'un nouveau supercalculateur cinq fois plus puissant va nous permettre de descendre en dessous de la taille des départements pour rendre compte de phénomènes très localisés comme les épisodes méditerranéens ou les nuages de grêle »*, annonce Virginie Schwartz.

J. LE GOFF/ADEME

« Un nouveau supercalculateur va nous permettre de rendre compte d'événements très localisés »

Virginie Schwartz P-DG de Météo France

des nuages, à travers les particules que ce composé forme ? », s'interroge David Salas y Media.
Le DMS est aussi un bon exemple de la façon dont les modélisateurs doivent composer avec ces « inconnues ». *« Nous procédons à des "paramétrisations", qui sont des équations mathématiques* », avoue David Salas y Media. Ainsi, les « boîtes » de 200 kilomètres sont bien incapables de prendre en compte l'influence — pourtant certaine — des fins nuages de faible altitude ou des convections atmosphérique, ces tourbillons ascendants d'air qui font le bonheur des oiseaux et des amateurs de vol à voile.

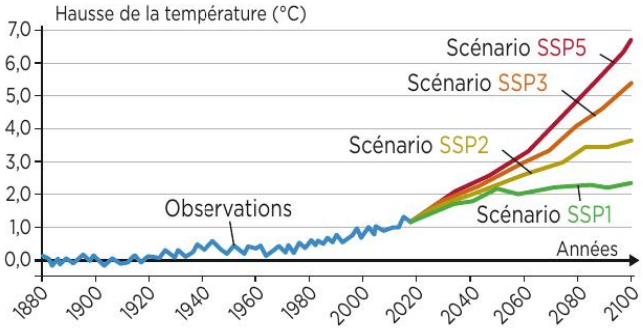
FRED SCHEIBER/20 MINUTES/SIPA

Montée des températures et banquise arctique

Les modélisateurs ont ainsi encore de grands défis à relever : prendre en compte de façon réaliste les nuages, les changements affectant les zones glaciaires, la disponibilité en eau... C'est cette part d'incertitude, traitée différemment par les modèles à travers le monde, qui explique les écarts de résultat. Il est ainsi difficile d'appréhender la réponse de la banquise arctique à la montée des températures. En suivant le même scénario d'une augmentation de 3 °C de la température mondiale, Météo France prévoit un maintien d'un englacement proche du record de la plus faible surface de banquise (2012), tandis que l'IPSL voit la banquise arctique complètement disparaître d'ici à la fin du siècle.
La reconstitution à l'instant T de la machinerie terrestre a un immense atout : elle permet l'ajout essentiel dans le système d'un paramètre crucial, celui de l'énergie produite par la combustion des énergies fossiles. Que se passerait-il si, en 2100, l'activité humaine ajoutait 1,9 watt par mètre carré (W/m^2) aux 240 W/m^2 du rayonnement solaire moyen ? Quelles différences d'impact avec un surcroît de 8,5 W/m^2 si rien n'est fait pour se débarrasser totalement du pétrole, du gaz et du charbon ? Les scientifiques ont donc transformé ces trajectoires en scénarios socio-économiques. Une transformation accélérée des modes de production et de consommation, avec l'abandon de l'utilisation du pétrole, du charbon et du gaz, mène ainsi à une hausse limitée à moins de 2 °C, objectif fixé par l'Accord de Paris, lors de la COP21 en décembre 2015, quand une absence de réforme mène à une planète plus chaude de 6 à 7 °C. Ces scénarios ont de telles conséquences sur l'activité économique de ces prochaines décennies, qu'ils se doivent d'être irréprochables. L'IPSL a donc conduit des simulations de « vérification ». Et ça fonctionne ! À partir de 32 hypothèses de situation de l'atmosphère, des océans et du couvert végétal en 1850, les climatologues ont établi des courbes de hausse des températures mondiales. *« Et il y en a une qui colle assez bien aux mesures réelles constatées par les stations météo* », se réjouit Pascale Braconnot. Autre constat qui rassure les climatologues : les records de températures invariablement battus lors de la décennie actuelle correspondent aux modélisations effectuées dans les années 1990, pourtant moins performantes que celles d'aujourd'hui. Mettre la Terre en boîtes, un moyen efficace d'alerter pour inciter à agir ! ■

L'impact de l'activité humaine

À partir des observations, les chercheurs ont établi 4 scénarios en fonction des efforts entrepris par l'humanité pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le modèle SSP5 correspond à l'absence de toute action soit +7 °C en 2100.



JOSH EDELSON/AFP

La multiplication des événements extrêmes (comme ici les incendies en Californie à l'automne dernier) a pu être corrélée avec les effets de l'activité humaine sur le climat.

Les lacs de montagne, pollués aux microplastiques

Une expédition a été organisée pour analyser une étendue d'eau de Haute-Savoie à plus de 2000 mètres d'altitude. Avec la quasi-assurance d'y retrouver des fibres de plastique de moins de 50 micromètres.

À bord du « mantamaran », en blouse blanche, Johnny Gaspéri (de dos) et David Gateuille s'apprêtent à collecter des échantillons du lac d'Anterne.

EN CETTE JOURNÉE ORAGEUSE, les chercheurs de l'université Savoie Mont Blanc (USMB) ahanent sur le raidillon de 300 mètres de dénivelé qui mène au lac d'Anterne (Haute-Savoie) au sein de la réserve de Sixt-Passy. Tournant le dos au mont Blanc, ils hissent sur leur dos à 2063 mètres d'altitude... une embarcation ! Le but de cette étrange régate ? Collecter dans cette étendue d'eau *a priori* préservée une pollution... invisible : des fibres de plastique de moins de 50 micromètres, soit *« l'épaisseur d'un cheveu »*, précise Frédéric Gillet, à l'origine du projet Plastilac. Le chercheur est l'inventeur du « mantamaran » que lui et ses collègues tractent : deux kayaks gonflables reliés, comme un catamaran, par deux bras constitués d'échelles d'aluminium. *« Nous avons beaucoup réfléchi à des éléments facilement démontables, rigides et surtout légers puisque l'ensemble pèse moins de 100 kg »*, explique le président de l'association Aqualti qui s'est donné pour mission d'aider à la logistique de missions scientifiques en altitude. Johnny Gaspéri, spécialiste eau et environnement à l'université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (Upec) et David Gateuille, du laboratoire de chimie moléculaire et environnement de l'USMB s'activent déjà à assembler les éléments. L'axe avant comporte un support pour une nasse composée d'un filet dont la « chaussette » terminale retient les particules microscopiques. À l'arrière, le moteur électrique permet de diriger l'embarcation avec souplesse sans perturber la surface du lac et donc les prélèvements.

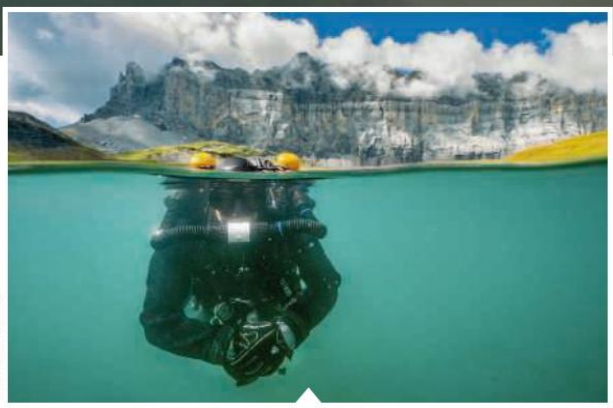
Du bricolage ? Certainement pas. Le mantamaran a nécessité d'importants calculs de force tant pour la stabilité de l'ensemble que pour l'adéquation de la puissance du moteur à la résistance du filet. Dans une eau très dense et fraîche (17 °C en surface, environ 10 °C au fond), Grégory Tourreau, hydrobiologiste et plongeur, racle les sédiments pour en remplir des bocaux. Ses 200 kg de bouteilles d'air comprimé ont été les plus pénibles à hisser jusqu'au col d'Anterne. Mais l'effort en vaut la chandelle scientifique ! Tous les « compartiments » du milieu naturel sont ainsi étudiés, un détecteur de particules dans l'atmosphère ayant également été installé sur les rives.

L'originalité de Plastilac réside

10 tonnes de plastiques sont produites chaque seconde dans le monde (350 millions de tonnes en 2017). (Source : UIC.)

8 millions de tonnes se retrouvent tous les ans dans les océans. (Source : WWF.)

LOÏC CHAUVEAU



FLORIAN MOREAU

L'hydrobiologiste Grégory Tourreau effectue une plongée dans le lac afin d'y prélever des sédiments.

dans cette exploration méticuleuse du voyage des particules vers les hauteurs. « *Nous voulons déterminer l'intensité du transfert par les airs de ces polluants physiques vers ces milieux d'altitude, dater le commencement des dépôts et les fluctuations qu'ils ont pu connaître au fil des décennies et enfin quantifier le stock présent dans la colonne d'eau qui pourrait affecter les organismes aquatiques* », résume Frédéric Gillet. D'où ces lentes pérégrinations sur ces deux hectares aquatiques, depuis les rives où serpentent les petits ruisseaux se jetant dans le lac, alimentés par les seules précipitations, jusqu'à l'émissaire (cours d'eau situé dans le déversoir) dont les eaux s'enfoncent dans le réseau karstique. Les deux collecteurs, Johnny Gaspéri et David Gateuille, progressent avec attention, vêtus de blouses blanches en coton pour éviter de polluer les prélèvements d'éventuels résidus de tissus synthétiques provenant de leurs vêtements.

L'ensemble des bocaux de sédiments et des filtres aériens et aquatiques recueillis lors de cette journée de collecte sont désormais en cours d'exploitation à l'USMB. Ils rejoignent ainsi d'autres prélèvements réalisés en juin 2019 sur un autre site alpin à 2105 mètres d'altitude, le lac de la Muzelle (Isère). Après avoir éliminé les éléments biologiques, les chercheurs vont quantifier le nombre de particules de plastique et en déterminer la composition : polytéréphtalate d'éthylène (PET) — qui compose la plupart des bouteilles en plastique —, polyéthylène haute densité (PEHD), polystyrène… « *La comparaison avec les prélèvements atmosphériques va nous permettre de prouver que cette pollution est apportée de très loin par le vent et n'est pas provoquée accidentellement par les pêcheurs ou les randonneurs du GR5 qui passent tout près* », poursuit David Gateuille. Car si les résultats ne seront pas connus avant quelques semaines, les chercheurs n'ont aucun doute sur le résultat final : ils trouveront des microplastiques.

Des fibres qui proviennent de nos vêtements

Entre 2015 et 2017, l'équipe de Johnny Gaspéri a été la première à rechercher des fibres microscopiques dans l'atmosphère extérieure et l'air intérieur des appartements parisiens ainsi que dans la Seine. « *Nous avons retrouvé des dépôts pouvant atteindre 355 particules par mètre carré, si bien que nous avons pu estimer à de 3 à 10 tonnes la pollution annuelle par les microplastiques sur les 2500 km³ de l'agglomération parisienne* », révèle le chercheur. Par comparaison, le chauffage au bois dépose dans Paris environ 2 milligrammes de particules par km³. 29 % de ces fibres sont intégralement synthétiques ou sont un mélange de matériaux naturels ▶

TOXICOLOGIE

Nous mangeons des plastiques

Des centaines de petits fragments de plastique de moins d'un millimètre chaque semaine, soit 21 g par mois, soit 250 g par an... soit l'équivalent d'une carte de crédit par semaine ! Voilà ce que chacun d'entre nous ingère, selon une étude de l'université de Newcastle (Australie) en juin 2019, pour le compte du WWF. Une étude qui confirme de précédents travaux de l'université de médecine de Vienne et de l'agence de l'environnement autrichienne. Celles-ci ont demandé à huit personnes venant de huit pays développés de tenir le décompte de ce qu'elles ingéraient et d'apporter au laboratoire des échantillons de leurs selles. Les résultats publiés en octobre 2018 dans *Spink Health* révèlent qu'en moyenne 2 microplastiques d'une taille comprise entre 50 et 500 micromètres ont été retrouvés pour 10 g de matière fécale. Pas moins de 9 sortes de plastiques ont été différenciées, avec cependant une majorité de polypropylène et de PET suggérant une ingestion... par l'intermédiaire des emballages et des bouteilles d'eau ! Autant de preuves que la présence des microplastiques dans l'air comme dans l'eau pose un énorme problème de santé publique. D'autant que leur taille les rend facilement absorbables par les mollusques et les poissons notamment, les faisant ainsi entrer dans la chaîne alimentaire. La plupart de ces particules sont en effet recouvertes de pigments, de métaux lourds et de molécules organiques qui sont toxiques sans qu'on ait pu à ce jour en établir le seuil de dangerosité.

L'eau, source de microparticules

(Nombre de fragments de plastique chaque semaine)

Les plastiques de l'eau potable se retrouvent dans des boissons comme la bière ; ceux de la mer passent dans les fruits de mer ou le sel.

BRUNO BOURGEOIS

et synthétiques. L'origine ? Vraisemblablement... nos vêtements ! Des prélèvements effectués à la sortie de machines à laver ont en effet révélé la présence de particules provenant de l'usure des tissus... que l'on retrouve ensuite dans l'eau et dans l'air. Un résultat confirmé par les chercheurs de l'université Rovira i Virgili de Tarragone (Espagne) qui ont cherché des microplastiques d'une taille inférieure à 5 millimètres et des nanoplastiques de moins de 700 micromètres dans l'eau de mer, le sable et les sédiments des plages de Catalogne. Résultat : 57 % des échantillons recueillis sont composés à 42 % de polypropylène, à 37 % de polystyrène et à 16 % de polyéthylène, des substances qui proviennent de vêtements abrasés lors par les lavages. *« Nous apportons notre expérience et nos méthodes de mesure au projet Plastilac, d'autant plus volontiers qu'après avoir étudié la pollution aval des microplastiques, cette initiative va permettre d'évaluer ce qui se passe en amont, très loin des zones d'émissions »*, poursuit Johnny Gaspéri.

Une solide étude de l'École nationale supérieure d'agronomie de Toulouse (Ensat) publiée le 15 avril 2019 dans *Nature Geoscience* a déjà mis en exergue des transports aériens de microparticules sur de longues distances. Les chercheurs toulousains ont eu l'idée de filtrer l'air de la station météorologique de Bernadouze (Ariège), située à 1425 mètres d'altitude dans un endroit reculé de la chaîne des Pyrénées, à 6 kilomètres du village le plus proche et à 120 kilomètres de Toulouse. La campagne de prélèvements a duré cinq mois pour couvrir l'éventail des situations météorologiques. En moyenne, tous les jours, l'équipe a récupéré plus de 350 fragments et fibres plastiques par mètre cube. Une analyse des trajectoires des masses d'air a montré que cette pollution avait voyagé sur au moins 95 kilomètres !

Mais le projet Plastilac va plus loin encore en traquant les fibres dans l'eau et dans les sédiments, où elles se sont accumulées depuis l'essor du plastique après la Seconde Guerre mondiale. *« En constatant une présence de ces fibres partout dans l'environnement, nous démontrons que les mesures de dépollution sont sans effet. Seule la réduction de l'usage des plastiques sera efficace »*, conclut Johnny Gaspéri. ■

LOÏC CHAUVEAU

Le bout de la nasse forme une sorte de chaussette qui permet de retenir les particules les plus fines extraites du lac.

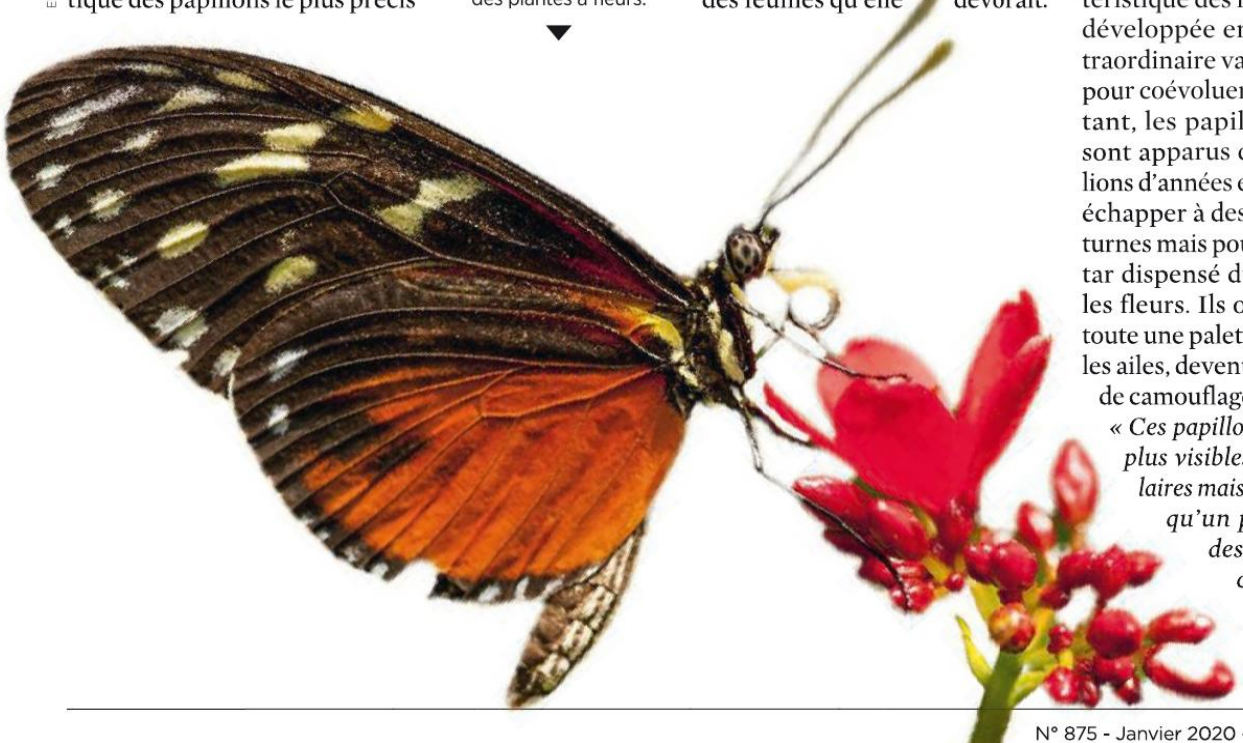
Loïc Chauveau
@Loïc_Chauveau

Le fabuleux destin des papillons

Selon une étude génétique, les premiers lépidoptères seraient apparus il y a 300 millions d'années… bien avant les fleurs.

INFATIGABLES BUTINEURS, les papillons sont en réalité apparus… des dizaines de millions d'années avant les plantes à fleurs ! Voilà l'étonnante conclusion de la plus vaste enquête génétique jamais menée sur ces insectes par une équipe internationale sous la houlette du muséum d'Histoire naturelle de Floride (États-Unis). *« Comme nous disposons de très peu de fossiles de papillons, cette étude nous offre un précieux fil pour remonter à l'origine de leurs espèces et de leur diversité »*, s'enthousiasme Violaine Llaurens, spécialiste des lépidoptères au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) à Paris.

Pour dresser l'arbre phylogénétique des papillons le plus précis et fiable possible, les scientifiques ont choisi 186 espèces représentatives de toute leur diversité. Afin de les classer, ils ont ensuite comparé 2000 de leurs gènes avec les moyens de séquençage et d'analyse informatique du centre de génomique BGI à Shenzhen (Chine). Ce tableau des espèces a ainsi révélé que les premiers papillons seraient apparus il y a 300 millions d'années environ, à la fin du carbonifère, bien avant donc les premières fleurs datées d'environ 150 millions d'années. Dès lors comment se nourrissaient-ils ? La chenille de petite taille de ces insectes, essentiellement nocturnes, progressait à l'intérieur des feuilles qu'elle dévorait. Quant aux adultes, dépourvus de trompe à la différence de la plupart des espèces actuelles, ils grignotaient le pollen des fougères et divers végétaux. Autre surprise : certains ancêtres des papillons actuels étaient parfois déjà dotés d'un appareil auditif leur permettant de déceler des prédateurs ou le chant de leur partenaire sexuel. *« Nous pensions que cette capacité était une adaptation à l'écholocalisation par ultrasons développée par certaines chauves-souris, or celles-ci ne sont apparues qu'il y a environ 50 millions d'années »*, relève Violaine Llaurens.



ERIC ZAMORA/FLORIDA MUSEUM OF NATURAL HISTORY

« Heliconius aconit » butinant : la trompe permettant aux lépidoptères de pomper le nectar des fleurs s'est développée en réponse à la diversification des plantes à fleurs.

Des ailes outils de séduction ou de camouflage

C'est avec l'apparition des plantes à fleurs que les papillons ont connu une grande diversification. Les chenilles ont alors eu accès à une nourriture plus tendre en sortant de la feuille. *« La chenille s'est libérée de la contrainte de taille et les papillons, plus gros, ont pu se disperser et coloniser d'autres milieux »*, ajoute la chercheuse. La trompe si caractéristique des lépidoptères s'est développée en réponse à l'extraordinaire variation des fleurs pour coévoluer avec elles. Pourtant, les papillons diurnes ne sont apparus qu'il y a 100 millions d'années environ, non pour échapper à des prédateurs nocturnes mais pour récolter le nectar dispensé durant le jour par les fleurs. Ils ont alors déployé toute une palette de couleurs sur les ailes, devenues de vrais outils de camouflage ou de séduction. *« Ces papillons colorés sont les plus visibles et les plus populaires mais ils ne représentent qu'un peu plus de 10 % des 160 000 espèces connues »*, rappelle Violaine Llaurens. ■

Pierre Kaldy

La microbiologiste du MIT Mathilde Poyet interroge les habitants d'Andiel, un village bédik (Sénégal), sur leurs habitudes alimentaires.

À la recherche des bactéries perdues

Deux chercheurs français du prestigieux MIT collectent des échantillons de microbiote intestinal auprès de populations encore peu touchées par le mode de vie moderne. Leur espoir : développer des médicaments à partir de nouvelles bactéries. Reportage au Sénégal.

Par Cécile Coumau, envoyée spéciale @CecileCoumau

De retour des champs, les habitants du village d'Andiel (Sénégal) ont pris l'habitude de se retrouver à l'ombre d'un ailante, « l'arbre du ciel ». Deux chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT, Cambridge, États-Unis) les y attendent. Pour quelques jours, leur lieu de travail se trouve à plus de 700 kilomètres de Dakar, en pays bédik, auprès de ce peuple de cultivateurs représentant moins de 1 % de la population sénégalaise. Mathilde Poyet et Mathieu Groussin, microbiologistes français, l'ont choisi pour leur étude sur le microbiote intestinal en raison de son mode de vie encore très préservé. « *Mangez-vous parfois des glaces ?* », interroge la chercheuse. Hélène, âgée d'une cinquantaine d'années, regarde, intriguée, le cône vanillé parmi la galerie d'images apportée pour faciliter la communication. Elle n'a manifestement jamais vu cette sucrerie de sa vie. Le questionnaire se poursuit : consommation de protéines, de légumes, de laitages… tout est passé au crible. Seul le fonio — une céréale désormais prisée par les urbains des pays occidentaux qui font la chasse au gluten — revient comme un *leitmotiv*. « *Parmi tous les peuples que nous avons rencontrés, les Bédik*

BRUNO BOURGEOIS

Un laboratoire mobile, installé à l'arrière d'un 4x4, permet de collecter des échantillons de selles auprès des villageois.

font partie de ceux qui ont une des plus faibles diversités alimentaires », note Mathieu Groussin.

Cette enquête de terrain s'inscrit dans un projet de recherche international, unique au monde, sur le microbiote intestinal, cet ensemble de millions de bactéries hébergées par notre système digestif. « *Nous savons aujourd'hui que l'urbanisation s'accompagne d'une perte de diversité bactérienne* », expliquent les chercheurs du MIT. Et les principaux coupables ont été démasqués : consommation d'antibiotiques et d'aliments dits ultratransformés, couplée à la tendance hygiéniste qui tend à éliminer tous les microbes de notre environnement. Or, de plus en plus de liens sont établis entre des déséquilibres du microbiote intestinal et le développement de nombreuses maladies comme les pathologies inflammatoires de l'intestin, l'asthme, le cancer, le diabète...

16 000 bactéries
déjà identifiées par le programme Global Microbiome Conservancy.

230 espèces
d'entre elles étaient jusqu'alors inconnues.

CONTEXTE

Le microbiote humain correspond à l'ensemble des micro-organismes qui colonisent notre corps : notre système digestif (microbiote intestinal), notre peau, nos organes reproducteurs (microbiote vaginal), etc. Le microbiote intestinal compte environ 100 000 milliards de bactéries — environ 1,5 kg par personne — qui jouent un rôle dans la digestion et dans de nombreuses autres fonctions physiologiques comme l'immunité.

Une démarche préparée par les scientifiques locaux

Face à cette menace, Mathilde Poyet et Mathieu Groussin ont créé, il y a trois ans, le Global Microbiome Conservancy*, un organisme à but non lucratif, qui a pour mission de constituer une biobanque de bactéries intestinales. « *Avant que certaines espèces ne disparaissent, nous avons entrepris de nous rendre dans 30 pays d'ici à la fin de 2021, auprès de peuples isolés qui ont conservé un mode de vie rural* », précise la chercheuse. Le Sénégal est ainsi le 11e pays sur la liste. Chez les Bédik, comme chez les Maures, à la frontière de la Mauritanie, ou chez les Hadza, des chasseurs-cueilleurs de Tanzanie, le rituel est identique. Après avoir expliqué le motif de leur recherche et rempli les questionnaires alimentaires, les microbiologistes du MIT collectent des selles. Une démarche délicate, préparée longtemps à l'avance par les partenaires scientifiques locaux — le service de parasitologie de l'hôpital Aristide-Le-Dantec de Dakar en l'occurrence — qui rencontrent le chef de village, le responsable du poste de santé local ainsi que les villageois qui acceptent de participer. C'est Gérard Keita, microscopiste au poste de santé le plus proche et habitant du village d'Andiel, qui est chargé de distribuer les bols qui recueilleront « l'or noir ». En ce petit matin lumineux, le chef du village est le premier à se présenter devant le laboratoire mobile que les chercheurs ont installé à l'arrière d'un 4x4. Équipés de masques et de gants, ils commencent par attribuer une note aux selles en fonction de leur consistance. Puis ils prélèvent des échantillons, déposés dans différents tubes : l'un servira à séquencer l'ADN des bactéries, un autre ▸

H. SOKOL

INTERVIEW

PR HARRY SOKOL
HÉPATO-GASTRO-ENTÉROLOGUE À L'HÔPITAL SAINT-ANTOINE, À PARIS

« Trois stratégies pour transformer des bactéries en médicaments »

Conserver des bactéries intestinales dans une biobanque vous semble-t-il intéressant pour mener des recherches sur le microbiote ?
Je crois à cette idée d'aller préserver des micro-organismes car ces bactéries sont réellement menacées. L'occidentalisation de nos modes de vie est rapide. En outre, ce type de démarche est pertinent parce que de plus en plus d'études établissent des liens entre la composition du microbiote et l'état de santé. Cependant, la vraie question est de savoir comment nous allons pouvoir créer des médicaments à partir de ces micro-organismes. Et là, tout dépendra de l'imagination des chercheurs !

Quelles sont les différentes stratégies qui permettraient d'aboutir au développement de nouveaux traitements ?
La première piste consiste à comparer le microbiote de personnes malades à celui de sujets sains, comme ceux issus de la biobanque. En 2008, nous avons en effet constaté qu'une bactérie (*Faecalibacterium prausnitzii*), présente chez les individus en bonne santé, faisait défaut aux personnes souffrant de maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (Mici). Quand on l'administre à des souris malades, elle a un puissant effet anti-inflammatoire.
La deuxième stratégie, moins fine mais tout aussi efficace, consiste à tester les bactéries une par une sur les fonctions qui nous intéressent. Pour faire un tel « screening » [sélection], la biobanque représente une ressource intéressante.

Est-il aussi envisageable d'administrer un cocktail de bactéries ?
C'est la troisième stratégie. Des recherches sur des « consortiums de bactéries » sont déjà menées [notamment pour prévenir l'asthme chez les nouveau-nés à risques]. Toute la difficulté consiste à savoir comment les bactéries interagissent. Et, pour obtenir l'autorisation de mise sur le marché (AMM) d'un tel cocktail, il faudra démontrer que toutes les bactéries sont sûres et bénéfiques. **Propos recueillis par C. C.**

Situé au sud-est du Sénégal, le village d'Andiel est habité par des Bédik, un peuple de cultivateurs au mode de vie très préservé.

Des populations de 11 pays sur 30 au total ont déjà contribué à la biobanque de bactéries intestinales du projet Global Microbiome Conservancy.

à les préserver pour les faire se multiplier, et un dernier à laisser la matière fécale se dessécher afin de procéder à des mesures, notamment lipidiques. « *Il suffit d'un gramme de selles pour recueillir des millions de bactéries* », indique Mathieu Groussin. Les échantillons sont ensuite glissés dans une bombonne remplie d'azote liquide (-196 °C). L'ensemble sera ensuite transporté par avion jusqu'au MIT, aux États-Unis.

Une biobanque ouverte aux chercheurs du monde entier

Grâce à la contribution de 1000 participants issus de 25 populations de 11 pays, les deux microbiologistes aidés par 80 collaborateurs locaux ont déjà constitué une bibliothèque 16 000 bactéries, dont 230 espèces étaient inconnues. « *Nous ne savons rien de leur rôle,* explique Mathilde Poyet. *Nous séquençons le génome complet de chacune d'entre elles, ce qui permet d'avoir sa carte d'identité précise. Nous essayons d'identifier celles qui seraient des marqueurs de certaines pathologies et de comprendre comment elles peuvent s'adapter à un nouveau style de vie… ou comment elles n'y survivent pas. Nous avons ainsi constaté que les bactéries qui dégradent les fibres alimentaires sont particulièrement affectées par le mode de vie urbain.* » Le but de la biobanque, ouverte aux chercheurs du monde entier, est aussi de permettre des expérimentations visant à élaborer de nouvelles stratégies thérapeutiques pour lutter contre les maladies apparues dans le monde moderne. « *Et pas seulement pour les Occidentaux,* insiste Mathieu Groussin. *Si les peuples ruraux isolés ne sont pas encore concernés par l'obésité ou le diabète, nous avons été frappés par le niveau d'inflammation déjà présent dans les populations subsahariennes. Les avancées biomédicales qui seront issues de notre recherche doivent profiter à tous.* » *(Lire l'encadré ci-contre.)*
Élaborer des cocktails de bactéries, des biothérapies ou même affiner la technique des greffes

Les tubes contenant les échantillons de selles sont stockés au froid dans des bonbonnes d'azote avant d'être expédiés au laboratoire du MIT, aux États-Unis.

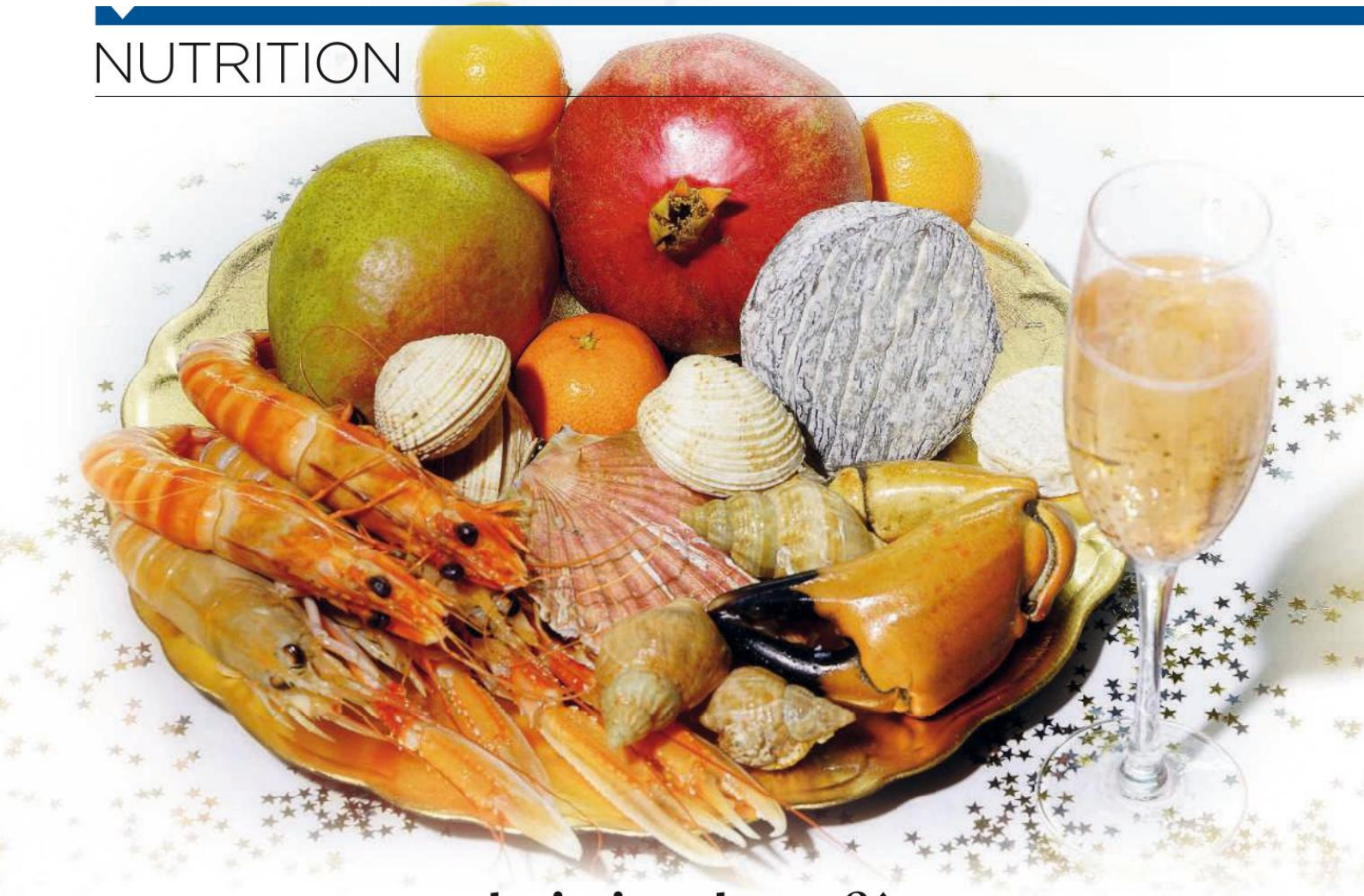
fécales en sélectionnant les donneurs, toutes les pistes sont à l'étude. Ainsi, en 2015, des chercheurs américains ont identifié quatre bactéries qui faisaient défaut à des enfants asthmatiques. Celles-ci ont été administrées en cocktail à des souriceaux qui ont alors développé une forme atténuée d'asthme. De son côté, la bactérie *Akkermansia municiphila* suscite des espoirs dans le traitement de l'obésité. Une équipe de l'Université catholique de Louvain (Belgique) a constaté qu'après administration de cette bactérie, des souris prenaient deux fois moins de poids, même en suivant un régime hyperlipidique. Le même traitement administré à des humains a entraîné une légère diminution du poids et du tour de taille selon une étude publiée dans *Nature Medicine* en juillet 2019. La composition du microbiote intestinal pourrait aussi faciliter les traitements anticancéreux. Une flore riche en *Faecalibacterium* rendrait l'immunothérapie plus efficace selon une étude de l'AP-HP, de l'Inra, de Gustave-Roussy et de l'Inserm (2016). Les chercheurs du MIT espèrent doper ces recherches. *« Nous serons en capacité de partager des bactéries avec la communauté scientifique d'ici à un an car il y a urgence »*, lance Mathieu Groussin. La piste qui relie Andiel à la ville la plus proche — où les aliments industrialisés s'étalent sur les marchés — deviendra en effet une route bitumée dans quelques mois à peine. ■ **Reportage photo : Fabrice Rondon pour Sciences et Avenir**

BIOPIRATAGE

Des exigences éthiques fortes

Les peuples les plus éloignés du mode vie moderne sont détenteurs d'une richesse suscitant des convoitises. Des entreprises privées risquent en effet d'être tentées de développer des médicaments à partir de leurs bactéries intestinales, en voie de disparition dans les populations urbanisées, sans contrepartie. Pour éviter ce risque, les chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT) à Cambridge (États-Unis) ont mis en place un code éthique lors de la création de leur biobanque mondiale. Ainsi, le Global Microbome Conservancy — qui a pour but de collecter le microbiote de populations préservées dans 30 pays dans le monde — est une organisation à but non lucratif : aucun profit ne peut être tiré des bactéries ou de leurs dérivés qu'elle conserve. Celles-ci sont réservées aux projets de recherche. En outre, *« les échantillons de matières fécales ainsi que les bactéries qui en sont extraites et leurs dérivés appartiennent aux donneurs »*, précise Mathilde Poyet à l'origine du projet. Par conséquent, si des industries pharmaceutiques veulent développer des cocktails de bactéries, elles devront obtenir leur consentement. *« Des ONG pourront servir d'intermédiaires afin de négocier ce contrat et fournir toute l'assistance légale dont les populations concernées auront besoin. »*

* microbiomeconservancy.org



Le plaisir des fêtes, sans les excès

Des repas de fin d'année qui ne se transforment pas en désastres diététiques, c'est possible. À condition de respecter quelques principes. Nos conseils.

CHAQUE FIN D'ANNÉE, au plaisir immédiat des repas festifs se mêle la crainte des retombées sur la prise de poids. Eh oui, les fêtes de fin d'année sont bien la période qui a le plus d'impact sur la balance ! Des travaux menés auprès de 2924 personnes de trois pays (Allemagne, États-Unis et Japon) montrent que le poids augmente de 500 à 800 grammes entre Noël et le nouvel an (1). Et pour cause ! Selon une étude britannique, une personne pourrait consommer jusqu'à 6000 kilocalories (kcal) rien que le jour de Noël, trois fois plus que l'apport quotidien recommandé (2). Soit une bombe calorique à retardement qui peut avoir un impact sur la santé, les festivités étant aussi synonymes d'alcools. Pour autant, ce n'est pas une fatalité. *« Il est tout à fait possible de marier plaisirs de la table et équilibre alimentaire »*, remarque Sibylle Naud, diététicienne-nutritionniste aux Sables-d'Olonne (Vendée). Quelques conseils.

Choisir les alcools les moins caloriques

Le vin blanc sec (10°) et le vin rouge (13°) apportent en moyenne 70 kcal par verre. C'est relativement peu, comparé au vin liquoreux (147 kcal) ou encore au whisky (380 kcal) (3). Certains vins effervescents (champagne, crémant…) détiennent également des teneurs en sucre élevées. Dans la méthode champenoise, une liqueur dite de dosage (mélange de vin de réserve et de sucre de canne) est ajoutée au cours de l'élaboration du vin. Mieux vaut donc choisir un « extra-brut » (moins de 6 g de sucre par litre) ou un « brut nature », sans dosage (moins de 3 g/l). L'idéal étant de ne pas

10 %

des ventes annuelles de chocolat ont lieu lors de la période de Noël. 7,3 kg de chocolat sont consommés par chaque Français chaque année.

SOURCE : SYNDICAT NATIONAL DU CHOCOLAT.

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

KILOCALORIES Unité de mesure de l'énergie apportée au corps par les aliments ingérés. Le nombre de kilocalories journalier recommandé est d'environ 2500 pour un homme adulte et 2000 pour une femme.

ACIDES GRAS SATURÉS Acides gras ayant des atomes de carbone totalement saturés en hydrogène. Ils se trouvent surtout dans les graisses animales (beurre, lait, viande…) ainsi que les huiles de coco et de palme.

DÉTOX Cure censée « nettoyer » certains organes (foie, intestins, reins…) des toxines et des déchets à l'aide de boissons à base de plantes (radis noir, pissenlit, chardon-marie…).

dépasser deux verres par jour ou dix par semaine (4).

Des fruits de mer à la place du foie gras

Le foie gras pèse lourd sur la balance (526 kcal et 54,6 g de lipides) ! Tout comme le boudin blanc (20 g de lipides). Outre le respect du bien-être animal, c'est une bonne raison d'opter pour les fruits de mer (crustacés, céphalopodes, coquillages…). *« Peu caloriques (98 kcal pour 100 g de bulots, 106 kcal/100 g de langouste), ils pour avantage de présenter une teneur en protéines rassasiantes (10 à 20 g/100 g), équivalente à celle des poissons et des viandes »*, explique Sibylle Naud.
Ils sont également une source de minéraux. Exemple, 100 g d'huîtres (environ huit coquillages) apportent 101 microgrammes d'iode, 22 milligrammes de zinc, 2 mg de fer, 78 mg de magnésium, et 21,4 µg de sélénium. Attention cependant à ne pas en consommer en cas d'hypertension.

De la volaille, mais sans la peau

La « prime au gras » revient au confit de canard (286 kcal/100 g) ou d'oie. La dinde arrive en tête des volailles les moins grasses (169 kcal/100 g) : seulement 0,96 g d'acides gras saturés pour 100 g de dinde rôtie contre 3,26 g/100 g pour le chapon, un jeune coq castré nourri aux produits laitiers un mois avant son abattage. *« Retirer la peau réduit encore l'apport calorique »*, conseille Sibylle Naud. Pour la farce, *« une base d'aromates et de pommes est plus digeste que la chair à saucisse ou le foie gras »*, poursuit la diététicienne-nutritionniste. *« En accompagnement, privilégier des légumes qui faciliteront le transit intestinal malmené en raison de l'accumulation de repas plus riches et caloriques. »* Autre alternative : le gibier, comme le chevreuil (150 kcal/100 g) ou le sanglier (153 kcal/100 g).

Le poisson en toute légèreté

Ceux à chair blanche (cabillaud, saint-pierre, limande…) sont plus maigres (2 % de lipides en moyenne) que les poissons dits gras ou « bleus » tels le saumon (13 % de lipides et jusqu'à 223 kcal/100 g). Ces derniers fournissent toutefois des oméga 3, des acides gras polyinsaturés de deux types : l'eïcosapentaénoïque (EPA) et le docosahexaénoïque (DHA) dont le précurseur est l'acide alpha-linolénique (ALA). Des études soulignent leur intérêt dans la prévention des maladies cardio-vasculaires et la réduction de la mortalité par infarctus du myocarde (5). Attention néanmoins à la teneur en sel très élevée du saumon fumé (200 à 800 mg/100 g).

Le fromage, avec modération

Le Programme national nutrition santé recommande de ne pas dépasser 30 g par jour. Opter pour les frais (chèvre, ricotta…), riches en eau et pauvres en matières grasses. Exemple : 30 g de fromage de chèvre frais apportent 6 g de lipides contre 10 g pour l'emmental. Limiter les variétés les plus salées (roquefort, feta).

Un dessert fruité plutôt qu'une bûche

La crème au beurre, ingrédient de base de la bûche pâtissière, est une bombe (480 kcal, 35 g de sucres et 29 g de lipides pour 150 g). C'est plus qu'une tranche de bûche glacée (339 kcal, 38 g de sucres, 15 g de lipides). Mieux vaut donc choisir des versions fruitées avec une mousse à l'ananas ou au citron, ou de proposer une salade de clémentines ou encore une corbeille de fruits frais. ■ **Sylvie Boistard**

(1) Weight gain over the holidays in three countries, Helander EE. et al, *The New England Journal of Medicine*, 2016.

(2) Effectiveness of a brief behavioural intervention to prevent weight gain over the Christmas holiday period: randomised controlled trial, Mason F. et al, *BMJ*, 2018.

(3) Table Ciqual, Anses, 2019.

(4) PNNS, 2017.

(5) A quantitive analysis of fish consumption ans coronary heart disease mortality, Konig A. et al, *American Journal of Preventive Medicine*, 2005.

PR DIDIER SAMUEL Responsable de l'Unité d'hépatologie de l'hôpital Paul-Brousse, à Villejuif (Val-de-Marne) *

La crise de foie n'existe pas

« Cette sensation de mal-être, parfois associée à des nausées et des maux de tête, est liée à des troubles digestifs. Le foie n'est pas en cause : organe de détoxification par excellence, il est armé pour éliminer les surplus (alcool, sucres, graisses…). Mais on peut l'aider à rester sain avec une alimentation privilégiant les cuissons douces pour préserver minéraux et vitamines. Reprendre une activité physique comme la marche aide aussi à perdre les kilos pris durant les fêtes. Quant aux cures détox à base de jus de citron ou d'artichaut censées faciliter la digestion, leur efficacité n'a pas été démontrée scientifiquement. »

* Auteur de *La crise de foie n'existe pas ! Comment protéger son foie, véritable usine du corps*, Marabout.

Quand la cigarette électronique devient mortelle

L'inhalation d'une substance illégale a provoqué le décès de près de 50 vapoteurs dans le monde. Si ce risque est écarté en France avec les produits autorisés, les effets du vapotage à long terme restent inconnus.

EVALI. Ce nom a fait une dramatique irruption dans l'actualité au printemps dernier, lorsque les premiers décès directement liés au vapotage ont été constatés aux États-Unis. Ce syndrome pulmonaire a provoqué la mort de 42 personnes et l'hospitalisation de plus de 2200 autres dans 49 États américains. Sans oublier le Canada (huit hospitalisations), les Philippines (un cas) et la Belgique (un décès). De quoi créer un vent de panique chez les 40 millions d'utilisateurs de la cigarette électronique dans le monde. Après des mois d'investigations, les Centres pour le contrôle et la prévention des maladies américains (CDC) viennent d'identifier le coupable : l'acétate de vitamine E. Un agent huileux ajouté illégalement à certains liquides au cannabis vendus au marché noir, et retrouvé dans tous les échantillons de fluides pulmonaires prélevés sur les victimes. Voilà qui devrait rassurer les utilisateurs de substituts du tabac qui achètent leurs produits auprès de fournisseurs officiels contrôlés. Même si les effets à long terme du vapotage restent inconnus.

Ce sont les biopsies effectuées sur les poumons des victimes qui ont donc fini par parler. Elles montrent que la vitamine E, excellente dans l'alimentation ou en crème pour la peau, devient un puissant poison si l'huile est chauffée et inhalée. « *En arrivant aux poumons, la vapeur de vitamine E refroidit et se redépose dans les alvéoles en gouttelettes d'huile qui détériorent une substance appelée "surfactant pulmonaire". Or, cette fine pellicule de lipides et de protéines qui tapisse les poumons est indispensable à la fonction respiratoire* », détaille le Pr Bertrand Dautzenberg, pneumologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris, et premier défenseur de la « vapoteuse » (autre nom de la cigarette électronique) comme outil de lutte anti-tabac. « *Cette crise sanitaire ne concerne donc pas la cigarette électronique elle-même, mais ce qu'on met dedans* », tranche-t-il. Raison pour laquelle la vitamine E a toujours été interdite pour cet usage, même aux États-Unis où la réglementation est pourtant moins contraignante qu'en Europe. « *Il n'existe aucun risque sanitaire pour les produits autorisés en France* », rassure aussi Roger Genet, directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail (Anses) chargée d'analyser les nouveaux produits avant leur commercialisation. Car outre la vitamine E, particulièrement dangereuse, d'autres substances provenant des liquides ou des matériaux composant le dispositif peuvent présenter des risques (diacétyle, formaldéhyde...) et sont donc réglementées en Europe : En France, des normes Afnor certifient la sécurité des produits *(voir l'infographie ci-contre)*.

AP/SIPA

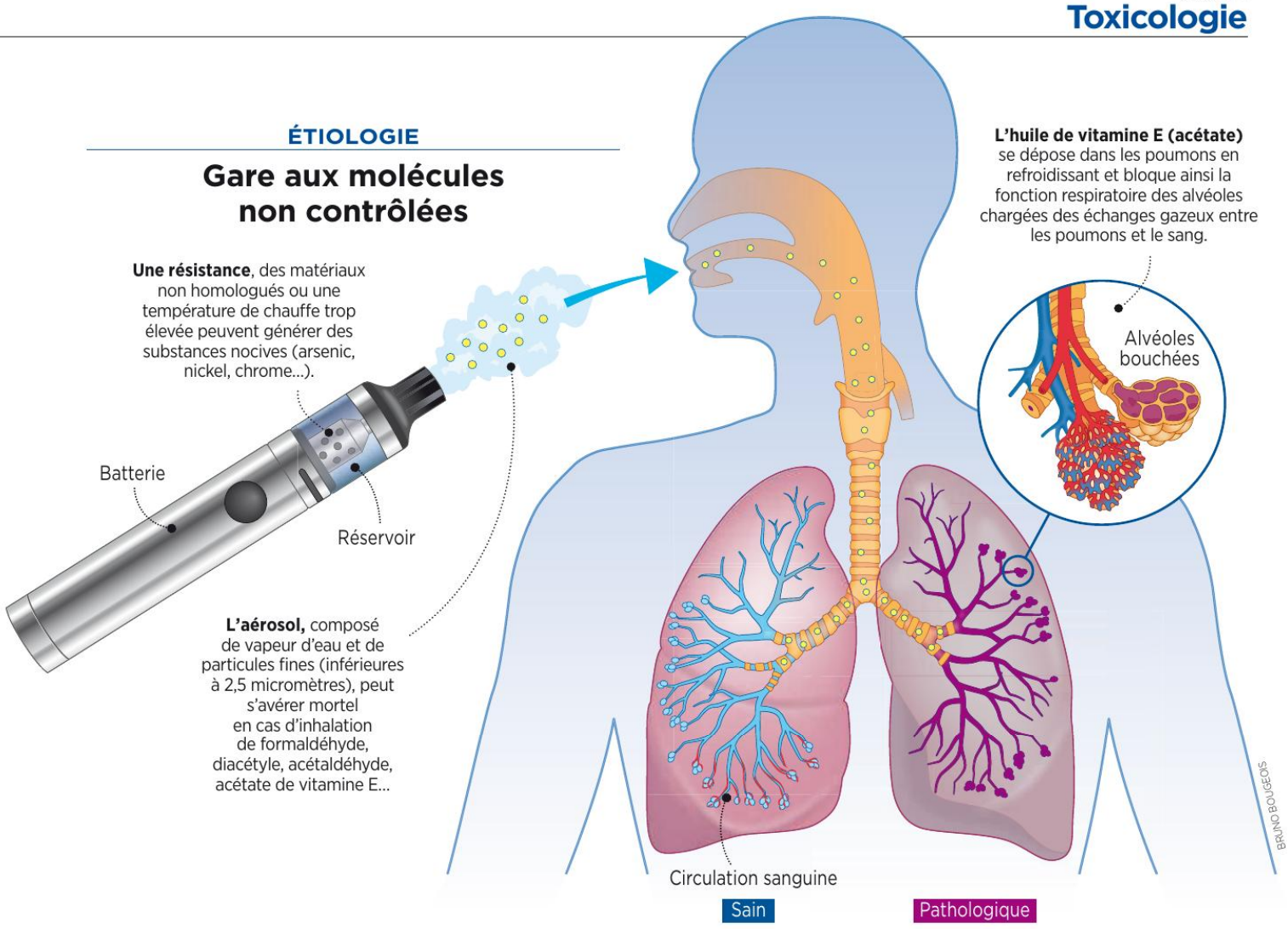
Flacons de liquide pour vapoteuse contenant du cannabis saisis le 23 septembre 2019 dans le Minnesota. Le trafic de ces produits illégaux est à l'origine des graves problèmes sanitaires rencontrés aux États-Unis.

Des composés nocifs encore autorisés aux États-Unis

De fait, si les effets sur le système cardio-vasculaire restent mal connus *(lire l'encadré p. 74)*, il existe en l'état un consensus scientifique : la cigarette électronique est moins nocive que le tabac. Rappelons que celui-ci tue un fumeur sur deux, soit 8 millions de morts par an dans le monde, dont 73 000 en France. « *L'immense majorité des tabacologues et addictologues sont désormais d'accord sur un point : le choix du vapotage pour sortir du tabac est préférable*

ÉTIOLOGIE

Gare aux molécules non contrôlées



à celui de rester fumeur... pour peu de cesser complètement le tabac », explique le Pr Daniel Thomas, de l'Institut de cardiologie de la Pitié-Salpêtrière et vice-président du Comité national contre le tabagisme. En France, 700 000 personnes ont ainsi totalement arrêté le tabac à l'aide de la vapoteuse ces sept dernières années, selon Santé publique France. « *C'est de loin le produit le plus utilisé dans le sevrage* », assurent ainsi d'une seule voix la Société de pneumologie de langue française et la Société francophone de tabacologie dans un communiqué consacré à ce sujet à l'occasion du Mois sans tabac en novembre dernier. Les chiffres attestent de son efficacité : elle serait en moyenne deux fois plus efficace que nombre de substituts nicotiniques (gomme à mâcher, patch et spray sublingual) selon un important essai clinique. Reste que la cigarette électronique pose des problèmes différents selon les réglementations des pays. Ainsi, elle est considérée comme 95 % moins nocive que le tabac et fait l'objet d'une promotion active comme outil de sevrage au Royaume-Uni depuis 2015. Aux États-Unis, en revanche, les agences sanitaires sont bien plus méfiantes : le vapotage est classé comme « produit du tabac » à éviter. La non-régulation du marché autorise des taux de nicotine très élevés (jusqu'à 60 mg/ml contre un maximum de 20 mg/ml en France) et n'interdit pas certains composés nocifs — comme le formaldéhyde — et permet un marketing agressif auprès des jeunes. Résultat : nombre d'entre eux développent une addiction à la nicotine sans avoir jamais fumé de tabac... « *Britanniques et Américains sont dans une logique de santé publique. Les premiers, dans l'optique de protéger les fumeurs en les sortant du tabac ;* ▶

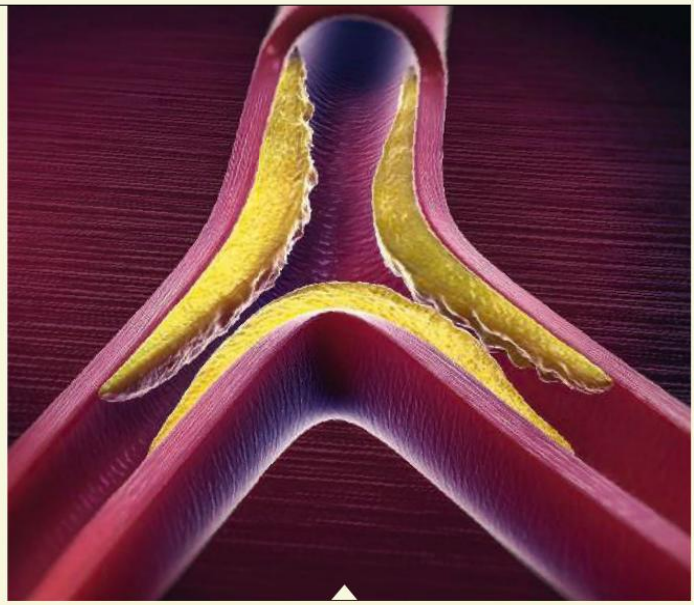
BERTRAND DAUTZENBERG

« Cette crise sanitaire ne concerne pas la cigarette électronique elle-même mais ce que l'on met dedans »

Professeur Bertrand Dautzenberg, pneumologue et tabacologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris

ÉTUDES

Les effets cardio-vasculaires du vapotage en question



BSIP

Artère rétrécie par un dépôt d'athérome (en jaune). Cette pathologie, source d'AVC et d'infarctus, serait favorisée par le vapotage.

Si le potentiel cancérogène de certaines molécules — très étudié — paraît limité avec des produits réglementés, la question des effets cardio-vasculaires de la cigarette électronique est beaucoup moins claire. Des effets potentiellement nocifs sur le fonctionnement artériel ont été pointés par les deux dernières revues de la littérature scientifique publiées en 2019. Les molécules inhalées interagissent avec les tissus vasculaires selon des mécanismes semblables à ceux du tabac : augmentation du stress oxydatif qui « use » les cellules ; dysfonctionnement de la surface interne (endothélium) des vaisseaux sanguins ; rigidification des artères favorisant la formation des plaques d'athérome responsable des accidents cardio-vasculaires (AVC, infarctus...). Mais les études se succèdent avec des résultats pouvant paraître contradictoires. Ainsi, un essai conduit chez 114 fumeurs passés à la vapoteuse a mesuré un assouplissement de leurs artères selon des résultats publiés en novembre dernier. Ces divergences résulteraient d'une question de méthode selon le Pr Daniel Thomas, de l'Institut de cardiologie de l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris, et vice-président du Comité national contre le tabagisme. « *Certains chercheurs comparent les effets entre des vapoteurs et des non-fumeurs-non-vapoteurs, tandis que d'autres le font entre des fumeurs et des vapoteurs. Dans le premier cas, les effets mécaniques sur les artères sont indiscutables. Dans l'autre cas, c'est un bénéfice par rapport au tabac qui est observé.* » Par ailleurs, la plupart des études relevant des effets néfastes sont publiées sur la base d'essais chez la souris ou sur des cellules en laboratoire qui reflètent mal l'exposition humaine. « *Mais la cigarette électronique ne doit vraiment être utilisée que dans l'optique de sortir complètement du tabac* », conclut le Pr Thomas.

les seconds dans celle de protéger la jeunesse de la dépendance », analyse Daniel Thomas.

Entre ces deux positions antagonistes, la France navigue avec prudence, sans encourager les fumeurs à passer au vapotage tout en se gardant bien de les en décourager. D'autant que les données battent de plus en plus en brèche la « théorie de la passerelle » qui voudrait que la cigarette électronique soit une porte d'entrée vers le tabac. « *Il s'agit plutôt d'un produit concurrent ou de remplacement* », affirme Bertrand Dautzenberg. Aux États-Unis, les données des CDC montrent que l'explosion du nombre de vapoteurs chez les lycéens (27 % en 2019) s'est accompagnée chez eux d'un effondrement du tabagisme (de 16 % en 2011 à 5,8 % en 2019). « *Ces données montrent de façon très nette que le vapotage remplace le tabagisme plutôt qu'il le soutient* », confirme Michael Siegel, professeur de santé publique à l'université de Boston (États-Unis). Même constat en France où, selon le dernier baromètre de Santé publique France, 99,8 % des vapoteurs quotidiens sont d'anciens fumeurs... ou continuent de fumer. Et ce sont d'ailleurs ces « vapofumeurs » — qui cumulent cigarette et cigarette électronique — qui inquiètent les spécialistes. « *Leur cas est très problématique car ils s'imaginent réduire leur risque de cancer ou de maladies cardio-vasculaires en réduisant le nombre de cigarettes fumées*, explique Daniel Thomas. *Or, la durée d'exposition au tabac est un facteur bien plus important que le nombre de cigarettes fumées par jour.* »

Pour autant, les effets à long terme de la cigarette électronique sur la santé restent pour l'heure inconnus. « *Il est certain qu'elle a un potentiel de toxicité* » rappelle le Pr Nicolas Roche, président de la Société de pneumologie de langue française. Mais lequel ? Toujours difficile à évaluer malgré plus de 4000 publications scientifiques sur le sujet depuis 2012. Raison pour laquelle, « *le jour où il n'y aura plus de tabagisme, je serai le premier opposant à la vape* », conclut Bertrand Dautzenberg. ■ **Hugo Jalinière**

@HugoJaliniere

Des vaccins courants aux vertus anticancéreuses

Les virus vivants contenus dans certains vaccins peuvent aider le système immunitaire à se débarrasser des tumeurs dans plusieurs types de cancer.

DES VACCINS BIEN CONNUS DES MÉDECINS pourraient bientôt se voir attribuer une nouvelle mission : participer à la lutte contre le cancer. C'est l'étonnante piste creusée par une équipe lyonnaise et publiée dans *Science Translational Medicine*. Ainsi, les chercheurs ont montré que des vaccins contre les gastro-entérites à rotavirus éliminent des tumeurs cancéreuses chez des modèles animaux. L'idée était d'aider le système immunitaire à s'attaquer aux cellules cancéreuses. En effet, celles-ci ont la particularité de neutraliser les cellules immunitaires qui les attaquent en bloquant certains récepteurs. Pour déjouer ce mécanisme, l'immunothérapie se révèle très efficace, mais pour seulement 10 à 20 % des patients. Le recours à certains vaccins permettrait ainsi de lever les résistances des tumeurs à cette stratégie. *« Les virus contenus dans ces préparations ont la capacité de stimuler directement des récepteurs de l'immunité innée »*, explique le Dr Aurélien Marabelle, directeur du programme d'immunothérapie de l'Institut Gustave-Roussy (Villejuif, Val-de-Marne), et donc de contrecarrer la protection des cellules cancéreuses.

Pour ce faire, les chercheurs ont testé 14 vaccins différents, tous bien connus (rougeole, BCG contre la tuberculose, Cervarix contre les papillomavirus...), contenant des virus vivants. Ils ont alors découvert que deux d'entre eux destinés à protéger les nourrissons de gastro-entérites sévères (Rotateq et Rotarix) ont bien aidé le système immunitaire à se débarrasser de la tumeur dans plusieurs types de cancer. En particulier les neuroblastomes — des tumeurs pédiatriques parmi les plus fréquentes — contre lesquels ils ont été testés *in vivo* chez la souris. Mais ce n'est pas tout.

VOISIN/PHANIE

Les rotavirus présents dans les vaccins contre les gastro-entérites ont éliminé des neuroblastomes lors d'un test sur un modèle animal (souris).

L'équipe leur a découvert une propriété inattendue : une capacité oncolytique, c'est-à-dire une propension à s'attaquer directement au processus cancéreux. En effet, les virus contenus dans le vaccin, injectés dans la tumeur, infectent les cellules cancéreuses et conduisent celles-ci à s'autodétruire. Et ce *« sans toucher aux cellules saines »*, précise Sandrine Valsesia-Wittmann, spécialiste en immuno-oncologie au centre Léon-Bérard à Lyon. Si bien que certains neuroblastomes traités uniquement avec ces vaccins ont régressé jusqu'à disparaître complètement. Et en associant l'immunothérapie au vaccin, aucun n'a résisté...

Des essais d'ici deux à trois ans sur l'humain

« Nombre de cancers pourraient être attaqués par ce biais : poumon, vessie, mélanome, côlon, sein..., assure Sandrine Valsesia-Wittmann. *Nous espérons lancer des essais sur des patients d'ici deux à trois ans. Cette approche a en effet le mérite d'utiliser des produits connus, déjà largement commercialisés, pour lesquels il suffirait de modifier l'autorisation de mise sur le marché.* » Un inconvénient à résoudre toutefois : le risque, très faible (6 cas pour 100 000 doses) d'atteinte intestinale grave associée à ces deux vaccins. *« Les laboratoires travaillent actuellement à réduire cette toxicité potentielle »*, conclut la chercheuse. ■ **Hugo Jalinière**

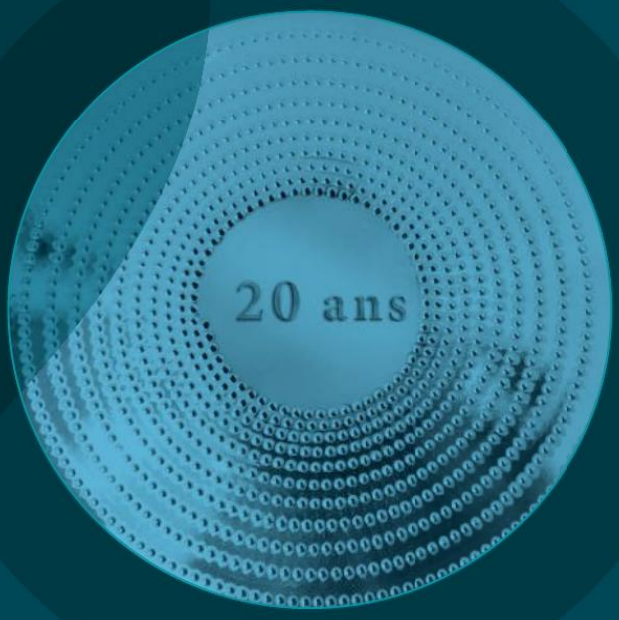
@HugoJaliniere

SCIENCES AVENIR CAHIER PARTENAIRE

Inserm

La science pour la santé
From science to health

PRIX INSERM 2019



Rédaction : Géraldine Magnan. Création graphique : Myriem Belkacem. Photos : Eric Paul / ATAOLIK

Audace et confiance

© D.R.

Excellence, ouverture, audace. Et, par-dessus tout, esprit de recherche. C'est ainsi que les scientifiques et ingénieurs récompensés par les Prix Inserm – dont *Sciences et Avenir* rapporte avec plaisir les éminents travaux dans les pages suivantes – peuvent mettre leurs compétences au service de la santé de leurs contemporains. Souvent, au sujet de ce qui semble un tout autre registre que celui de la médecine, les profanes s'interrogent : mais à quoi peuvent bien servir certaines branches des mathématiques, si abstraites et apparemment si inutiles ? Quelle n'est pas leur surprise quand il se révèle, parfois bien plus tard, qu'en physique notamment, ces abstractions ont l'art de décrire une certaine réalité du monde. Personne, auparavant, n'aurait pu vraiment l'imaginer. En santé, le parallèle peut être fait. Ainsi, que penser de cette observation, dans le génome d'une bactérie comme *Escherichia coli*, de séquences génétiques répétées ? Un bégaiement dans l'information ? Une multiplication à la fonction au contraire primordiale ? Et quelle peut bien être l'importance, par ailleurs, d'un arrangement spatial de l'ADN en ce qui concerne cette même information génétique ? La vision en trois dimensions est-elle anodine ? Fondamentale ? Quiconque n'a pas curiosité et persévérance chevillées au corps – et aux neurones ! – ne saurait s'aventurer sur ce genre de terrain. Les parcours de tous les prix de cette année 2019 en témoignent. Des parcours que *Sciences et Avenir* a une fois encore, l'honneur de vous faire découvrir. ●

Dominique Leglu,
directrice de la rédaction
de *Sciences et Avenir*

« Les grandes avancées scientifiques sont le fruit d'une multitude de petits pas en avant »

© Inserm/François Guénet

Quel sens l'Institut donne-t-il aux Prix Inserm ?

Pour cette vingtième année, l'Inserm renouvelle son souhait de mettre en valeur les forces humaines qui font avancer la recherche. La raison d'être de cette cérémonie des Prix Inserm, dont nous célébrons aujourd'hui les vingt ans, est notre volonté d'honorer et de valoriser les immenses talents que l'Inserm met au service de la recherche biomédicale. L'Institut salue ainsi une recherche qui fait avancer les connaissances, qui ouvre de nouvelles voies, qui trouve des traitements ; une recherche d'excellence, d'innovation, de diversité, d'audace et de ténacité. Et parce que les chercheurs et ingénieurs Inserm qui travaillent sur des sujets de pointe ne sont souvent honorés qu'au sein de leur milieu scientifique, l'Institut a à cœur de montrer à l'ensemble de la société ce qu'ils font, comment ils le font, et leurs résultats – et pas seulement lorsqu'ils sont spectaculaires : les grandes avancées scientifiques sont le fruit d'une multitude de petits pas en avant, accomplis de manière discrète, persévérante et industrieuse.

Les lauréats ont des profils diversifiés. Que représentent-ils ?

Dans le milieu fortement concurrentiel de la recherche, il faut un tempérament fort et singulier pour pouvoir surmonter les difficultés tout au long de la carrière, et il faut être bien entouré d'un collectif volontaire. D'où l'intérêt de valoriser nos lauréats, qui illustrent chacun des aspects essentiels de l'effort de recherche : la créativité et l'audace au service de l'innovation scientifique, d'abord. Mais aussi la capacité à convaincre pour amorcer des changements sociaux dans le milieu de la recherche lui-même, et au niveau de la société. Nous sommes fiers que nos prix soient en mesure de promouvoir les qualités scientifiques de nos chercheuses et chercheurs, mais également leurs immenses qualités humaines.

Les métiers de soutien à la recherche sont particulièrement valorisés à l'occasion de ces prix. D'où vient ce choix ?

L'excellence et l'innovation scientifiques sont des ambitions fondamentales de l'Institut, mais elles ne peuvent émerger et perdurer que lorsque de bonnes conditions sont réunies. Cela passe par ces métiers de soutien à la recherche, qui ne sont pas juste des métiers aidants, mais de véritables piliers sur lesquels repose l'édifice de la recherche à l'Inserm. Sans opérateurs de plateformes technologiques, gestionnaires d'animalerie ou de banque de données, éthiciens, communicants, experts des relations avec les associations de malades et autres intermédiaires avec la société, la recherche ne peut pas être coordonnée et diffusée de manière efficace au sein de la société.

Ainsi, pour toutes nos lauréates et tous nos lauréats de ces vingt années, et derrière eux leurs équipes, et derrière ces équipes l'ensemble de l'Inserm, les Prix Inserm sont l'occasion de célébrer leur mission, leur vocation même : produire une science au service de la santé de chaque citoyen. ●

Dr Gilles Bloch,
président-directeur général
de l'Inserm

Éric GILSON

Les secrets « génétiques » du vieillissement

Domaine dynamique aux applications énormes, la biologie du vieillissement est récente. Éric Gilson y est arrivé par la recherche fondamentale, se passionnant pour les télomères, ces séquences génétiques qui coiffent les chromosomes de tous les animaux. Elles sont au cœur des mécanismes du vieillissement.

Depuis trois ans à la tête d'AgeMed, le grand programme transversal de l'Inserm sur le vieillissement, Éric Gilson a fondé en 2012, à Nice, l'Institut de recherche sur le cancer et le vieillissement (Ircan, pour *Institute of Research on Cancer and Aging, Nice*). Intronisé chef d'orchestre d'un domaine scientifique et médical en pleine explosion, le chercheur y est pourtant arrivé par hasard, lâchant dans ses jeunes années la médecine pour se consacrer à l'organisation des chromosomes, un domaine de recherche très fondamental.

Par opposition à son père ingénieur, dont le travail paraît trop ingrat à ses yeux d'enfant, Éric Gilson se tourne vers la médecine avec l'espoir de faire de la recherche. Dès sa deuxième année, il saute sur l'occasion de présenter également le concours d'entrée à l'École normale supérieure (ENS), à Paris. À 20 ans, il intègre le prestigieux établissement tout en poursuivant ses études de médecine. *« Réussir ce double cursus m'a donné une grande confiance »*, confie-t-il.

Au début des années 1980, le génie génétique en est à ses balbutiements. Passionné, le normalien passe ses jeudis à l'institut Pasteur, à l'Unité de programmation moléculaire et de toxicologie génétique. Le laboratoire a été créé par Maurice Hofnung, pionnier de la discipline. Lui-même élève de François Jacob, qui a obtenu un Nobel pour ses travaux en génétique moléculaire avec Jacques Monod, Maurice Hofnung devient l'un des mentors d'Éric Gilson. *« Il m'a appris l'élégance du raisonnement génétique, qui revient à inventer des systèmes expérimentaux astucieux pour répondre à des questions biologiques précises »*, raconte le directeur de l'Ircan.

Les séquences génétiques répétées dans l'ADN des eucaryotes, un groupe qui rassemble tous les organismes vivants à l'exception des bactéries, intriguent le jeune homme. Le patrimoine génétique de ces dernières est réuni dans un unique chromosome circulaire qui baigne dans la cellule, contrairement à celui des eucaryotes, organisé en chromosomes linéaires à l'intérieur d'un noyau cellulaire.

ADN égoïste

« Cette redondance de séquences génétiques était considérée comme de l'ADN "égoïste", ou ADN "poubelle", explique le chercheur. *L'honnêteté intellectuelle aurait été de reconnaître qu'on ne savait tout simplement pas à quoi cela servait. »*

Lorsque, pendant sa thèse, il identifie de telles séquences répétées dans le génome d'*Escherichia coli*, une bactérie utilisée dans les expérimentations scientifiques, sa curiosité est piquée. *« C'était complètement inattendu. Et cela reposait la question de la fonction de ces redondances génétiques. »* Cette question, qui n'avait pas encore de réponse claire, a conduit l'ensemble de la carrière d'Éric Gilson. Recruté par le CNRS, il a consacré les dix premières années de sa vie de chercheur à l'institut Pasteur à l'étude des séquences répétées bactériennes. Pendant cette période, il apprend l'existence des télomères, ces séquences génétiques répétées que l'on trouve aux extrémités des chromosomes dans les cellules des organismes eucaryotes. Pour en découvrir davantage, il part en Suisse, à Lausanne, où il rejoint Susan Gasser. Cette spécialiste de l'organisation spatiale des chromosomes y dirige alors une équipe à l'Institut suisse de recherche expérimentale sur le cancer.

« En 1990, l'information génétique était encore vue de manière assez linéaire, évoque-t-il.

Éric GILSON

Pourtant, l'organisation tridimensionnelle de l'ADN fait aussi partie de l'information génétique ». Il démontre alors, chez la levure, que l'organisation spatiale des gènes détermine la régulation de leur expression. Les gènes qui se trouvent à proximité des télomères sont réprimés. Leur déplacement ailleurs dans le noyau entraîne leur expression. Or, à chaque division des cellules humaines, les télomères raccourcissent. Quand ils sont trop courts, la cellule entre en sénescence. Elle arrête de se diviser, ce qui contribue au vieillissement de l'organisme. « *On peut imaginer que pendant le vieillissement, les cellules modifient la régulation de l'expression de certains gènes suite à l'érosion de leurs télomères. On ne connaît pas encore la contribution exacte de ce mécanisme au processus global du vieillissement* », suggère le scientifique, dont les travaux actuels restent fondés sur cette hypothèse.

Après son escapade suisse, Éric Gilson s'installe à Lyon. En 1994, il s'attèle aux télomères humains. Il découvre que si la cellule humaine ne confond pas les extrémités de ses chromosomes avec des cassures accidentelles de l'ADN, c'est grâce à des protéines (TRF1 et TRF2) qui encapuchonnent l'ADN télomérique. Elles assurent la stabilité des chromosomes. Chez la levure, le chercheur prouve qu'un seul télomère plus court que les autres suffit à induire la sénescence cellulaire.

Alors que sa carrière bat son plein à Lyon, Éric Gilson a envie de soleil. Il quitte sa maison familiale située à un jet de pierre de Lyon, pour rejoindre ses origines maternelles à Nice. Pendant quatre ans, il effectue des allers-retours entre les deux villes.

Vivre plus longtemps

En 2010, il est recruté comme professeur des universités-praticien hospitalier au CHU de Nice. Arrivé au vieillissement par le biais des séquences génétiques répétées des télomères, le scientifique fonde l'Ircan, sous l'autorité conjointe de l'Inserm, du CNRS et de l'université Nice Sophia Antipolis. « *Le vieillissement est une perte progressive de la fonction des organes due à l'accumulation de dommages moléculaires,* explique le chercheur. *Une grande partie de ces phénomènes s'explique par l'accumulation de cellules sénescentes. Si on les détruit au fur et à mesure qu'elles apparaissent chez la souris, l'animal peut vivre plus longtemps et en meilleure santé. De nombreuses maladies du vieillissement, comme la bronchopneumopathie chronique obstructive, sont associées à une accumulation de cellules sénescentes. La sénothérapie, nouvelle discipline médicale, repose sur l'utilisation de molécules sénolytiques, autrement dit capables de tuer les cellules sénescentes. Des essais cliniques ont commencé. C'est une révolution médicale et économique.* »

Avec son équipe, le chercheur a aussi montré que TRF2 agit à la croisée entre cancer et vieillissement : son surdosage dans les cancers participe à la progression tumorale et sa répression au cours du vieillissement contribue à l'accumulation de cellules sénescentes. En 2016, l'Inserm lui a confié la coordination scientifique du programme AgeMed (pour *Aged cells to medical applications*), un consortium d'une vingtaine d'équipes françaises travaillant sur ce sujet. Avec un objectif : aider les humains à vivre plus longtemps en bonne santé. ●

« En 20 ans...

... le développement des outils d'analyse à haut débit et d'ingénierie génétique a permis une révolution génomique. Aujourd'hui, on peut séquencer un génome entier en une heure. Tout cela nous permet de construire des modèles, animaux ou cellulaires, mieux adaptés aux questions médicales et scientifiques actuelles. Cette révolution a également eu lieu à l'hôpital. Elle nous permet de travailler sur des cellules issues d'échantillons biologiques prélevés sur les malades pour personnaliser leurs thérapies. »

Hervé CHNEIWEISS

L'art du compromis

Neurophysiologiste de renom, Hervé Chneiweiss est un esprit curieux. En même temps qu'il a sorti de l'ombre les astrocytes, compagnons indispensables de nos neurones, il s'est intéressé à l'éthique et à l'ensemble des sciences médicales.

« *Je suis un nomade du 5e arrondissement de Paris* », plaisante Hervé Chneiweiss, depuis son bureau qui domine le campus de Jussieu. Baptisée Plasticité gliale et neuro-oncologie, son équipe fait partie du laboratoire Neuroscience Paris Seine qu'il dirige et qui compte 200 personnes. De plus, elle est mixte, sous tutelle Inserm, CNRS et Sorbonne Université.

Un emblème, pour ce neurologue qui défend « *l'art du compromis raisonnable* ». Un art qu'il a su développer au comité d'éthique de l'Inserm, ainsi qu'au Comité international de bioéthique de l'Unesco. Il a également siégé pendant douze ans au conseil scientifique de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (Opecst). Embauché par le CNRS, le chercheur a toujours œuvré dans l'environnement de l'Inserm.

Prose médicale

« *Produit de l'école républicaine* », selon ses mots, Hervé Chneiweiss choisit des études de médecine par admiration pour son médecin de famille. Très vite, il s'intéresse à la neurologie et aux neurosciences. En démontrant leurs multiples fonctions, il contribue – aujourd'hui encore – à sortir de l'ombre les astrocytes, des cellules gliales qui sont les partenaires indispensables des neurones et dont les anomalies sont à l'origine de nombreuses maladies. En 1990, grâce à Yves Agid, il crée avec son confrère Alexis Brice une consultation de neurogénétique à l'hôpital de la Pitié Salpêtrière. « *Pour ce travail à la frontière entre la neurologie et la génétique, nous avons dû expliquer aux patients que nous ne pourrions pas les soigner, mais seulement faire avancer la recherche. Il fallait aussi enquêter sur leur famille. Il a donc fallu inventer des règles d'éthique médicale. Comme monsieur Jourdain du* Bourgeois gentilhomme, *j'ai fait de la bioéthique sans le savoir* », s'amuse le chercheur. Citoyen engagé, il est aussi conseiller au cabinet du ministre de la Recherche de 2000 à 2002, en charge des sciences de la vie et de la première révision des lois de bioéthique.

L'année suivante, il intègre l'Opecst, où il réfléchit pendant douze ans aux impacts sociétaux des découvertes sur les cellules souches, la génétique, les neurosciences…

Bioéthique mondiale

En 2013, Hervé Chneiweiss accepte la présidence du comité d'éthique de l'Inserm. « *Nous avons la petite vanité d'avoir été les premiers à publier une note sur l'édition du génome.* » Les manipulation génétiques sont en effet devenues très faciles grâce aux nouveaux outils moléculaires, tel CRISPR-Cas9. En mars 2016, il parvient à réunir à Paris une vingtaine d'institutions européennes sur le sujet. Le Conseil européen de la recherche et l'Agence européenne des médicaments sont du voyage. « *À l'issue de la journée, nous avons défini plusieurs principes communs dans un livre blanc.* » Hervé Chneiweiss n'en reste pas là. Pour rassembler d'autres collègues, il part en Amérique latine, en Inde, en république du Congo… et pose les bases d'une organisation internationale. L'Association pour une recherche et une innovation responsables dans l'édition du génome (Arrige, pour *Association for responsible research and innovation in genome editing*) est fondée à Paris en mars 2018. Ses galons gagnés, en janvier dernier, Hervé Chneiweiss a été nommé au groupe d'experts de l'OMS. Il a aussi été élu, en juillet 2019, à la présidence du Comité international de bioéthique de l'Unesco. ●

« En 20 ans… »

… il y a eu une explosion des facilités technologiques, avec une convergence entre le développement des sciences « -omiques » (génomique, protéomique…) et la puissance de la bioinformatique. Avec de grands pouvoirs viennent de grandes responsabilités. »

Mathilde TOUVIER

Des liens qui portent leurs fruits

Faut-il réduire notre consommation de produits ultra-transformés, de boissons sucrées, de viande rouges et de charcuteries ? À en croire les travaux dirigés par Mathilde Touvier, ces aliments pourraient être associés à une augmentation des cancers et des maladies cardiovasculaires.

Depuis deux ans, télévisions, radios, journaux et magazines papier se sont bousculés pour l'inviter. Les résultats de ses travaux de recherche semblent avoir fait le tour de la planète. Car Mathilde Touvier parle d'un sujet universel : les liens entre l'alimentation et la santé. *« Les dix dernières années de recherche ont enfin porté leurs fruits »*, dit-elle pour expliquer ce succès médiatique. Avec son équipe, elle explore les relations entre divers facteurs alimentaires (boissons sucrées, produits ultra-transformés, additifs...) et la santé. Depuis début 2019, elle dirige l'Équipe de recherche en épidémiologie nutritionnelle (Eren), une unité mixte placée sous la houlette de l'Inserm, de l'Inra, du Cnam et de l'université Paris 13, au sein du Centre de recherche en épidémiologie (Cress) à Paris.

Rêve d'ado

Mathilde Touvier a réalisé son rêve de lycéenne : devenir chercheuse à l'Inserm. Très vite, elle s'est passionnée pour l'épidémiologie, qui offre *« une approche holistique de l'être humain, où l'on tient compte de nombreux facteurs »*. Une fois son diplôme d'ingénieure en nutrition humaine en poche, elle négocie avec l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), qui souhaite la recruter, afin de réaliser une thèse en même temps. Naturellement, elle choisit l'Inserm. Puis, en 2008, Serge Hercberg la débauche. Ce chercheur en nutrition, ancien directeur de l'Eren, est le père de l'étude NutriNet-Santé, première grande « e-cohorte » dans le monde sur l'alimentation et la santé, qui recense les données de plus de 165 000 participants. *« Et nous cherchons toujours du monde »*, ajoute Mathilde Touvier, qui a repris le flambeau.

« En 20 ans...

... la nutrition est passée d'un "sujet de bonne femme", mal considéré, à une science reconnue et propulsée au centre des attentions et des débats. Dans le monde, 1 décès sur 5 est lié à une mauvaise alimentation. Il y a enfin eu une prise de conscience. »

Cette cohorte a permis de nombreux résultats. Parmi les thèmes abordés : les aliments ultra-transformés. *« Ils sont obtenus avec des procédés industriels comme le chauffage à très haute température, l'extrusion ou le prétraitement par friture,* explique la chercheuse. *Ils contiennent généralement de multiples additifs alimentaires. Nos résultats ont montré une association entre une augmentation de 10 % de la part d'aliments ultra-transformés dans le régime alimentaire et une augmentation de 10 à 12 % du risque de développer un cancer. Idem sur le risque cardiovasculaire et le diabète. »* Aujourd'hui, Mathilde Touvier souhaite aller plus loin dans la compréhension de ces liens. Elle s'intéresse aux possibles effets des cocktails d'additifs alimentaires contenus dans ces produits.

Action de santé publique

En parallèle, toujours grâce à NutriNet-Santé, son équipe a identifié des liens entre la consommation de boissons sucrées et l'apparition de cancers. Un fait nouveau, qui s'ajoute aux effets de ces boissons sur la santé cardiovasculaire ou métabolique (diabète, obésité...). Pour la chercheuse, c'est une raison supplémentaire de défendre la taxe sur les boissons sucrées, régulièrement remise en question. Une incartade en politique ? *« J'ai toujours voulu mener des travaux utiles à la société,* argumente-t-elle. *Nous avons déjà réussi à officialiser le logo Nutri-Score, un étiquetage qui informe sur la qualité nutritionnelle, sur l'emballage des produits alimentaires en France et dans plusieurs pays européens. »* ●

Michel SADELAIN

La révolution des CAR-T

Installé aux États-Unis, le médecin-chercheur Michel Sadelain a mis au point une technique révolutionnaire de lutte contre le cancer. Son principe : manipuler le patrimoine génétique des cellules immunitaires du patient, avant de les lui réinjecter.

L'homme est têtu. Pendant plus 20 ans, il a lutté contre le désintérêt de la communauté scientifique et médicale pour créer une thérapie révolutionnaire contre le cancer. Michel Sadelain, chercheur français exilé aux États-Unis, dirige aujourd'hui le centre d'ingénierie cellulaire au Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, à New York. Avec Isabelle Rivière, qu'il a récemment épousée, il a mis au point la *CAR T Cell Therapy*. Cette immunothérapie contre le cancer repose sur une approche originale : fabriquer des globules blancs « améliorés » à partir des propres cellules du malade. Les résultats sont spectaculaires : les symptômes réduisent rapidement au point que le cancer devienne indétectable.

La solitude des précurseurs

« J'ai imaginé que pour attaquer les cellules tumorales en épargnant les cellules saines, il faudrait instruire les lymphocytes T, raconte Michel Sadelain. *Et pour transmettre l'information à ces cellules du système immunitaire, il suffirait d'introduire dans leur génome des gènes qui leur dicteraient leur conduite. »* En 1986, pendant sa thèse à Paris, le transfert de gènes en est à ses balbutiements. Mais le chercheur part s'y former au Massachusetts Institute of Technology, à Cambridge, aux États-Unis. *« J'ai mis au point les premières méthodes de transfert dans les lymphocytes T. Mais personne ne s'est intéressé à mes résultats, présentés dans un congrès international d'immunologie en 1992. »* Il persévère et intègre le Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, où demeure une tradition de l'expérimentation thérapeutique.

Pour instruire un lymphocyte T, il faut d'abord y introduire un récepteur qui le guide vers une molécule cible portée par les cellules tumorales. Une fois la liaison établie, ce lymphocyte doit exécuter le bon programme pour éliminer la cellule cancéreuse. Michel Sadelain a l'idée de rassembler ces fonctions en une seule molécule : un récepteur chimérique antigénique, ou CAR (pour *Chimeric Antigen Receptor*). Pour l'obtenir, il transfère au génome d'un lymphocyte T un gène synthétique, qui code pour ce récepteur chimérique. Les cellules CAR-T sont donc des lymphocytes T équipés d'une molécule CAR adaptée au cancer à traiter. Une fois la cellule tumorale détruite, les CAR-T se divisent, multipliant leur nombre.

Une armée de CAR-T

« Et cette petite colonne de lymphocytes T va devenir une armée », commente le chercheur. À la fin des années 1990, Isabelle Rivière le rejoint. Ensemble, ils choisissent d'instruire les lymphocytes T pour reconnaître le CD 19, une molécule que possèdent les cellules tumorales de la plupart des leucémies et des lymphomes. Des expériences chez les animaux valident l'approche. De son côté, Isabelle Rivière invente un procédé pour extraire les lymphocytes T du sang de chaque malade et y introduire le gène synthétique de façon efficace et sécurisée. Les premiers essais cliniques débutent en 2007. La majorité des patients recrutés, atteints de lymphomes ou de leucémies réfractaires à tout autre traitement, répond bien. Rapidement, ils sont en rémission complète. Les résultats sont publiés au début des années 2010. Depuis, l'enthousiasme mondial pour ce type de thérapies n'est pas retombé. ●

« En 20 ans...

... la capacité d'introduire dans les cellules des modifications génétiques de façon précise et sécurisée a eu un impact énorme en médecine, non seulement sur les maladies monogéniques héréditaires, mais aussi sur des pathologies acquises comme le cancer. »

Chiara GUERRERA

La passion de la protéomique

Avec Chiara Guerrera, c'est toute l'énergie italienne qui a débarqué à Paris. Cette ingénieure de recherche a su développer une plateforme d'analyse protéomique intelligente et performante. Grâce à elle, des technologies complexes deviennent accessibles aux chercheurs académiques.

« L'Inserm m'a accueillie et m'a fait confiance alors que je ne parlais même pas français ! », s'enthousiasme encore Chiara Guerrera, ingénieure de recherche à la plateforme universitaire de protéomique de la structure fédérative de recherche Necker, qui dépend de l'Inserm, de l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris et de l'université Paris Descartes. Lorsque cette spécialiste de l'analyse des protéines est recrutée à ce poste, en 2006, la plateforme vient juste d'être créée. Elle ne permet de travailler que sur 1 à 2 projets par an. Aujourd'hui, la petite équipe de Chiara Guerrera participe à 80 projets issus de la France entière, chaque année. Preuve que les recruteurs de l'Inserm ne se sont pas trompés, même si, au départ, l'Italienne s'est faufilée dans une faille administrative qui n'interdisait pas explicitement la présentation orale en anglais lors de son concours d'entrée. Devenue parisienne, elle maîtrise désormais bien la langue de Molière. *« J'arrivais de Londres, où j'avais réalisé ma thèse et mon post-doctorat. La France m'a convenu : on y vit bien comme en Italie et on y travaille bien comme en Angleterre. »*

Comprendre la question

« Quand je suis arrivée à Necker, le plateau technique était minuscule, j'étais seule, avec peu d'instrumentation, se souvient-elle. *Je me suis investie pour créer une plateforme de très haut niveau. »* Mais davantage que dans la technologie, le secret de sa réussite réside surtout dans l'approche qu'elle y a développée. En parallèle des services proposés aux équipes de recherche, Chiara Guerrera mène une activité de recherche technologique. Dans un perpétuel mouvement, les deux branches se nourrissent l'une et l'autre. *« Je ne propose pas aux chercheurs un simple service,* détaille-t-elle. *Je veux comprendre la question biologique qu'ils se posent. Et si nos moyens technologiques ne suffisent pas à répondre, je développe une nouvelle stratégie. C'est une boucle : la recherche technologique alimente l'innovation, et celle-ci est mise ensuite à disposition de la communauté scientifique »*, résume Chiara Guerrera.

Services tout compris

Son équipe s'est par exemple spécialisée dans l'étude des nanovésicules extracellulaires, que fabriquent toutes les cellules. Au départ, des médecins-chercheurs de Necker qui travaillaient sur la cystinurie, une maladie génétique et orpheline du rein, voulaient identifier quels types de patients allaient développer une forme grave. Pour tenter de répondre à cette question biologique, l'ingénieure italienne, avec un étudiant en thèse, a travaillé sur la purification et l'analyse des protéines des vésicules extracellulaires dans l'urine des patients. Pour cela, elle a utilisé la spectrométrie de masse, qui permet de mesurer la masse des protéines, de leurs morceaux et leurs variations d'un échantillon à l'autre. L'équipe a pu identifier une série de marqueurs biologiques. Ils constituent la signature de l'inflammation et permettent de prédire l'évolution possible vers une forme grave de la maladie. Les compétences développées ont ensuite été proposées à d'autres équipes, appliquées à d'autres maladies. L'équipe de Chiara Guerrera a par exemple analysé les protéines des vésicules extracellulaires de l'urine et du liquide broncho-alvéolaire de personnes qui souffrent de mucoviscidose pour prédire comment elles répondent au traitement. *« Aujourd'hui, la protéomique est une approche indispensable à la recherche biomédicale »*, conclut Chiara Guerrera. ●

« En 20 ans...

... les techniques d'analyse globale telles que la protéomique se sont imposées comme des approches scientifiques incontournables pour répondre sans a priori aux questions biologiques. »

Jean-François DELFRAISSY

De l'écoute des patients à l'écoute sociétale

Fervent défenseur du concept de démocratie sanitaire, Jean-François Delfraissy a su le faire vivre en intégrant les associations de malades à ses travaux de recherche sur le VIH. Aujourd'hui à la tête du Comité consultatif national d'éthique, il aiguise ses aptitudes de rassembleur.

Tant que la nouvelle loi de bioéthique n'est pas votée, il ne dira rien du contenu de ses réflexions et des difficultés rencontrées sur ces sujets. Adopté en première lecture à l'Assemblée nationale, le projet de loi devrait être discuté au Sénat en janvier 2020. Pour l'heure, Jean-François Delfraissy, président du Comité consultatif national d'éthique (CCNE), accepte de partager une phrase : *« Je n'avais jamais autant travaillé que ces deux dernières années, pour l'organisation des états généraux de la bioéthique par le CCNE, qui précédaient la construction de la loi. »* Pourtant, lorsqu'il arrive à ce poste, le professeur d'immunologie a déjà un curriculum vitæ qui laisse deviner un excédent de journées à rallonge. Avant d'être nommé à la présidence du CCNE, il a dirigé l'Agence nationale de recherches sur le sida et les hépatites virales (ANRS) en même temps que l'institut thématique de l'Inserm Immunologie, inflammation, infectiologie et microbiologie (I3M), en passant par la *task force* interministérielle Ebola, entre autres fonctions. Malgré le pouvoir accordé par ces postes, c'est l'empathie qui semble avoir conduit ses pas. *« Depuis plus de trente ans, j'ai toujours privilégié l'écoute des patients. Cela m'a donné un atout pour l'écoute sociétale »*, reconnaît-il. Véritable avantage au CCNE, cette attitude trouve son origine dans les échecs médicaux qui ont marqué le début de sa carrière. Après s'être spécialisé en immunovirologie au cours de son internat de médecine, c'est lors d'un stage aux National Institutes of Health (NIH), à Bethesda, aux États-Unis, au début des années 1980 qu'il découvre les premiers cas de sida. De retour en France, Jean-François Delfraissy monte une unité clinique Sida, à l'hôpital Antoine-Béclère, à Clamart, dans le service de Jean Dormont, associée à des travaux de recherche plus fondamentaux à l'Inserm. À cette époque, les malades du sida sont jeunes et décèdent en nombre, face à un corps médical démuni. *« Le milieu associatif en savait presque autant que nous. C'était l'époque de la médecine triomphante, sauf que là, elle ne l'était plus du tout. Nous avons alors mis le patient au cœur de notre action. J'ai abandonné la posture du chercheur académique pour devenir un médecin-chercheur. Cela ne m'a plus jamais quitté »*, raconte-t-il.

Les années sida

En 1988, il devient professeur d'immunologie clinique à l'université Paris Sud. *« C'est la période la plus noire du sida,* se souvient-il. *On commence à se rendre compte que l'épidémie frappe aussi les hétérosexuels et les pays du Sud. On est totalement démuni au niveau thérapeutique et préventif. À Paris, des services entiers sont confrontés au sida avec de nombreux malades qui décèdent d'infections opportunistes. »* En 1992, Jean-François Delfraissy rejoint l'hôpital du Kremlin-Bicêtre. Avec son confrère Marc Tardieu, il y monte l'unité de recherche Virus, neurones et immunité. Le lien que le médecin-chercheur maintient avec l'Inserm lui permet de contribuer à la création des premières cohortes ANRS de malades du sida, *« un continuum entre la recherche fondamentale et la recherche clinique. L'arrivée des cohortes comme outil de recherche translationnelle élargit le champ au-delà des seuls essais cliniques. »* Aujourd'hui, elles constituent des outils de recherche majeurs.

Au même moment, le chercheur dirige un essai clinique, en collaboration avec une équipe américaine, dont les résultats, publiés en 1994, laissent briller une lueur d'espoir. *« Nous avions montré que l'AZT, cette molécule qui ne ralentit pas l'évolution de la maladie chez l'adulte, réussit à diminuer le taux de transmission entre la mère et*

l'enfant pour les deux tiers d'entre eux, lorsqu'elle est donnée chez la femme enceinte », témoigne-t-il. Dans un service où il y a « *120 décès par an, soit deux par semaine* », l'éclaircie est bienvenue. Deux ans plus tard, en 1996, « *l'hypothèse la plus improbable se réalise, avec une combinaison thérapeutique qui permet de bloquer la multiplication du virus pour reconstituer une immunité* ». Avec l'arrivée des inhibiteurs de protéases et des trithérapies, « *en moins de trois mois, tout a changé. C'était le retour de la médecine triomphale* », se souvient le professeur. Les services se vident. Le sida devient une maladie chronique, avec de nouveaux enjeux de recherche : le réservoir du virus, le vaccin, les « contrôleurs du VIH », ces patients séropositifs qui ne développent pas le sida.

Monsieur Sud

Nommé en 2005, Jean-François Delfraissy dirige l'ANRS jusqu'en 2016. « *Ma vision était simple : excellence, multidisciplinarité, place des patients, collaborations internationales* », souligne-t-il. Persuadé de l'intérêt de poursuivre l'ouverture de la recherche contre le VIH aux pays du Sud, il participe à la consolidation des nombreux sites de recherche de l'Agence au Cameroun, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, au Sénégal, au Cambodge, au Vietnam et au Brésil. Les résultats obtenus contribuent à construire les recommandations de l'OMS. Amusé par sa proximité avec les chercheurs africains et asiatiques, son entourage le surnomme « monsieur Sud ». En 2008, toujours animé par cette volonté d'œuvrer collectivement, il prend aussi la direction de l'institut thématique multi-organismes d'Aviesan Immunologie, inflammation, infectiologie et microbiologie (I3M). « *J'ai essayé de développer la notion de réseau au niveau international. En France, il y a un gros potentiel, si l'on conjugue les réseaux de l'Inserm à ceux de l'ANRS, de l'institut Pasteur...* ». Jean-François Delfraissy devient alors le grand coordinateur de la recherche en infectiologie et en immunologie française. Le gouvernement ne s'y trompe pas. En octobre 2014, alors que le monde craint une flambée de l'épidémie à virus Ebola au-delà des frontières de la Guinée, il confie à Jean-François Delfraissy un poste de délégué de la *task force* interministérielle Ebola. « *Comment peut-on répondre à ces nouvelles épidémies ?* », s'interroge plus globalement le chercheur. Avec ses collègues, il conçoit le consortium Reacting. Sous la houlette de l'Inserm, cette structure souple et multidisciplinaire, qui inclut la recherche biomédicale, le droit, l'urgence, la recherche de financement, le dépôt de brevets, veut fournir des réponses rapides aux crises sanitaires émergentes.

Toutes ces activités ont renforcé les aptitudes de négociateur et de rassembleur de Jean-François Delfraissy, des atouts non négligeables à la tête du CCNE. « *J'ai bien conscience d'être un mandarin,* confie le professeur émérite. *Mais j'essaie de rester dans le doute et dans l'écoute des patients.* » Une activité qu'il pratique encore une fois par semaine, ayant conservé une consultation à l'hôpital Bicêtre. « *Je vois des patients vivant avec le VIH que je suis depuis longtemps. On a du mal à se séparer* », plaisante-t-il.

« En 20 ans...

... il y a eu une explosion des connaissances, avec des innovations majeures dans la génomique, les neurosciences, l'informatique et la santé. Un renouvellement de 50 % des connaissances a désormais lieu tous les cinq ans. Pour ma part, je suis un enfant des pandémies. J'ai connu les virus VIH, H1N1, Ebola, Zika... La vitesse de propagation de ces maladies a changé la donne. Tous les deux ou trois ans, arrive une nouvelle épidémie. Nous devons anticiper au Nord comme au Sud. »

ÉQUITÉ
Yasmeen Hitti et Carolyne Pelletier
entraînent un algorithme à détecter les biais de genre dans les textes.

SANTÉ
Joseph Paul Cohen
développe une IA capable de détecter des maladies cardiaques sur des radiographies de la poitrine.

PHOTOS : OLIVIER HERTEL

À Montréal, dans le quartier général de l'IA éthique

Le centre de recherche Mila, au Canada, attire parmi les meilleurs spécialistes mondiaux de l'intelligence artificielle. Mot d'ordre : lier le développement numérique à des principes éthiques. Reportage.

Par Olivier Hertel, envoyé spécial @OlivierHertel

Une trentaine d'employés de Mila, l'Institut québécois d'intelligence artificielle (IA), sont dans la rue. En cette journée ensoleillée d'automne, ils brandissent des pancartes en carton sous le regard intrigué des passants : « *AI on strike !* » (« *L'IA en grève !* »). L'employeur n'est pas en cause. Mieux ! il encourage l'initiative. La grogne concerne en fait le manque d'action en faveur... du climat ! Chercheurs, étudiants et employés rejoignent ce 27 septembre 2019, la Marche pour le climat qui réunit près de 500 000 personnes dans les rues de Montréal. Bienvenue dans le monde de Mila, l'une des plus grandes concentrations au monde de spécialistes en intelligence artificielle, où l'éthique compte autant que les avancées scientifiques.

L'institut québécois a été fondé à Montréal en 2017 par l'emblématique Yoshua Bengio, l'un des pères de l'apprentissage profond (*deep learning*), lauréat du prix Turing 2018 considéré comme le Nobel de l'informatique (*lire l'interview p. 89*). Le centre est un véritable ovni dans le paysage de

CLIMAT
Sasha Luccioni
pilote une simulation en images des effets du réchauffement climatique.

la recherche en informatique, avec un credo clair : l'IA doit se mettre au service de la société, et non l'inverse. Cet engagement a été formalisé par la publication en décembre 2018 de la « Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'IA ». Ce document inédit a été conçu par l'université de Montréal avec le soutien de l'institut, et piloté par Marc-Antoine Dilhac, professeur de philosophie, membre de Mila. Il pose les bases de l'éthique dans ce domaine où les controverses surgissent régulièrement. *« Si l'IA a une valeur, c'est celle de faire progresser la société vers des buts désirables dans les domaines de la santé, de la lutte contre la pauvreté, de l'équité, du développement durable... »*, affirme le chercheur. La déclaration met ainsi en exergue dix grands principes qui doivent avoir une influence sur le développement de l'IA comme le bien-être, la protection de la vie privée et de l'intimité ou encore le développement durable.

Ces principes se retrouvent dans tous les projets scientifiques du centre. La jeune chercheuse Sasha Luccioni pilote ainsi Climate Change AI, une simulation en images des effets du réchauffement climatique. *« Nous utilisons des réseaux dits antagonistes génératifs, c'est-à-dire des algorithmes basés sur des réseaux de neurones capables de générer de nouvelles images en se basant sur une image initiale. Ainsi, à partir de la photo d'une rue avec une maison, apparaît un nouveau cliché montrant le même lieu mais complètement inondé »*, explique-t-elle. Dans son calcul, l'algorithme tient compte de la géolocalisation et de la topologie de la zone, qu'il couple aux prévisions des modèles climatiques d'une augmentation de 3,5 °C de la température mondiale d'ici à 2050. *« L'objectif est de sensibiliser le public aux effets*

CONTEXTE

Des armes autonomes capables de tuer sans autorisation humaine, des algorithmes discriminants (racisme, sexisme...) ou destructeurs d'emplois, des entreprises faisant commerce des données personnelles...
Les sujets d'inquiétude se multiplient autour du développement de l'intelligence artificielle dont le marché devrait atteindre 11,1 milliards en 2024 (source : Tractica). Pour contrer ces dérives, des chercheurs se mobilisent pour imposer une IA éthique, au service de la société.

Les 10 principes pour une IA responsable*

1. **BIEN-ÊTRE**
2. **RESPECT DE L'AUTONOMIE**
3. **PROTECTION DE L'INTIMITÉ ET DE LA VIE PRIVÉE**
4. **SOLIDARITÉ**
5. **PARTICIPATION DÉMOCRATIQUE**
6. **ÉQUITÉ**
7. **INCLUSION DE LA DIVERSITÉ**
8. **PRUDENCE**
9. **RESPONSABILITÉ**
10. **DÉVELOPPEMENT DURABLE**

* Déclaration de Montréal (2018). www.declarationmontreal-iaresponsable.com

du réchauffement sur son cadre de vie », précise Sasha Luccioni. Kris Sankaran, post-doctorant, collabore avec la Croix-Rouge internationale pour réaliser un inventaire des ponts en Ouganda, à partir d'images satellite. Un travail complexe et crucial pour identifier les voies d'évacuation en cas de crues catastrophiques. « *Je vois l'IA comme un moyen d'amplifier les solutions que construisent les spécialistes dans leurs domaines* », explique le jeune chercheur. Carolyne Pelletier et Yasmeen Hitti consacrent quant à elles leurs travaux aux biais de genre dans l'IA lesquels ont notamment fait polémique en 2015 quand Amazon a décidé d'utiliser un algorithme pour sélectionner les candidats au recrutement. Or celui-ci avait été entraîné sur une base de données dans laquelle les CV d'hommes étaient surreprésentés. Résultat : l'algorithme avait tendance à éliminer les CV de femmes, jugées moins performantes... car moins représentées. « *Nous construisons une base de données de ces biais pour entraîner un algorithme à les détecter* », explique Yasmeen Hitti. Les deux jeunes chercheuses ambitionnent même, à terme, de proposer un algorithme qui recommande des formulations permettant d'éviter ces biais dans des logiciels de traitement de texte.

Chercheurs, étudiants et employés de Mila s'apprêtent à rejoindre la Marche pour le climat le 27 septembre à Montréal.

Des firmes en contradiction avec les principes

Joseph Paul Cohen pilote le groupe recherche médicale de Mila. Chester, l'un de ses nombreux projets, consiste à développer une IA sur PC et smartphone, capable de détecter des pathologies cardiaques sur des radiographies de la poitrine. « *L'IA identifie les pixels reliés aux risques de maladies, ce qui permet au médecin de détecter par exemple un risque de cardiomégalie, une augmentation anormale du volume du cœur* », indique le spécialiste. Pour le moment, cette aide au diagnostic est un prototype mais le logiciel a vocation à être diffusé gratuitement et son code source est déjà en accès libre « *comme la quasi-totalité des recherches qui sont menées ici !* », assure Simon Lacoste-Julien, professeur de l'université de Montréal et membre cofondateur de Mila.

Pourtant, l'institut québécois n'est pas à l'abri des critiques, la qualité de sa recherche attirant aussi les Google, Facebook, Microsoft... Simon Lacoste-Julien consacre lui-même 20 % de son temps au coréen Samsung. Or, aucune de ces entreprises n'a signé la déclaration de Montréal et certaines piétinent ses principes. C'est le cas de Facebook, empêtré dans un scandale pour avoir autorisé

ENSEIGNEMENT

Un tuteur virtuel en soutien scolaire

Korbi est une intelligence artificielle développée par la start-up Korbit fondée par Ian Serban, après sa thèse au Mila, et sa compagne Ansona Ching, ancienne enseignante pour enfants en difficulté. Il s'agit d'un tuteur particulier virtuel chargé d'identifier en permanence les difficultés de chaque élève et de leur proposer des vidéos, leçons, et exercices adaptés. « *Le but n'est pas de remplacer les enseignants, mais plutôt de les dégager de tâches répétitives pour qu'ils puissent se consacrer à d'autres projets. Certains cours sur notre plate-forme seront gratuits et d'autres, destinés à la formation dans les entreprises, payants* », explique Ian Serban. Et de poursuivre : « *Pour nous l'éducation est la chose la plus importante. C'est l'antidote à la bêtise.* »

ÉDUCATION
Ansona Chin et Ian Serban
veulent accompagner les élèves en difficulté.

PHOTOS : OLIVIER HERTEL

PARTAGE

Simon Lacoste-Julien

milite pour que les logiciels développés au Mila ne soient pas brevetés.

l'entreprise Cambridge Analytica à « aspirer » les données personnelles de ses utilisateurs sans leur autorisation, à des fins électoralistes.

Imposer les principes éthiques en amont

Alors comment concilier éthique et nécessité de collaborer avec ces entreprises, sources d'investissements substantiels ? *« La recherche en IA, de par ses relations avec les grandes entreprises, rend ces contradictions beaucoup plus visibles »*, se défend Marc-Antoine Dilhac. *« La déclaration de Montréal montre ce qu'il est souhaitable de faire. C'est maintenant aux gouvernements de s'en inspirer pour produire des lois »*, poursuit le chercheur qui compte aussi sur l'exercice d'une contestation au sein même de ces entreprises : *« Ces multinationales sont devenues des mini-États où les débats peuvent être virulents. Quand Google envisage de conclure un contrat avec l'armée, les employés s'y opposent et l'entreprise doit faire marche arrière. »*

Yoshua Bengio lui-même est partisan d'un dialogue constructif : *« C'est la meilleure manière de les influencer. Cependant, nous disons non à certains partenariats quand l'écart se révèle insurmontable. »* Pour Marc-Antoine Dilhac, l'objectif est d'arriver à imposer les principes éthiques dès la conception des algorithmes : *« En cela, Mila est un lieu expérimental unique au monde. »* Il reste à espérer que la voix de ses chercheurs sera entendue. L'enjeu est crucial. ■

O. HERTEL

INTERVIEW

JOSHUA BENGIO

FONDATEUR ET DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DU MILA, PIONNIER DE L'APPRENTISSAGE PROFOND, PRIX TURING 2018.

« Les gouvernements doivent faire les prochains pas »

Quel est l'objectif de la déclaration de Montréal ?
Il était temps d'entreprendre cette démarche, pour aider à ajuster les normes sociales face au déploiement actuel et futur de l'IA. L'un des buts est de guider le développement de lois et règlements à venir qui formaliseront les principes énoncés dans la déclaration. Je crois que c'est surtout aux gouvernements de faire les prochains pas. Il faut que les règles du jeu s'appliquent à toutes les entreprises, pas seulement celles qui ont la volonté d'agir de manière éthique, sinon ça va au contraire favoriser celles qui décident de ne pas mettre en pratique ces principes. Car il peut y avoir un coût à le faire.

L'éthique est-elle une préoccupation récente en IA ?
Les chercheurs en IA se préoccupent d'éthique depuis que l'IA est sortie des labos et se retrouve dans l'industrie et dans les produits et services qui y sont déployés. Nous avons réfléchi à la déclaration de Montréal dès 2016. J'ai également participé à la conférence Beneficial AI à Asilomar en janvier 2017 où une liste de 23 principes a été produite, portant entre autres sur la responsabilité morale des chercheurs en IA, le refus des armes létales autonomes ou le respect des données personnelles.

Pourquoi l'IA, plus qu'une autre technologie, a-t-elle besoin de l'éthique pour son développement ?
Parce que cette technologie est puissante et le sera encore plus dans le futur. Or plus un outil est puissant, plus il peut avoir à la fois des impacts positifs et négatifs. Il permet à celui qui le contrôle d'avoir davantage de pouvoir, ce qui est dangereux pour la démocratie. Nous en avons déjà un aperçu la manipulation des réseaux sociaux, la surveillance des populations...

Propos recueillis par O. H.

Un tunnel flottant pour franchir les fjords

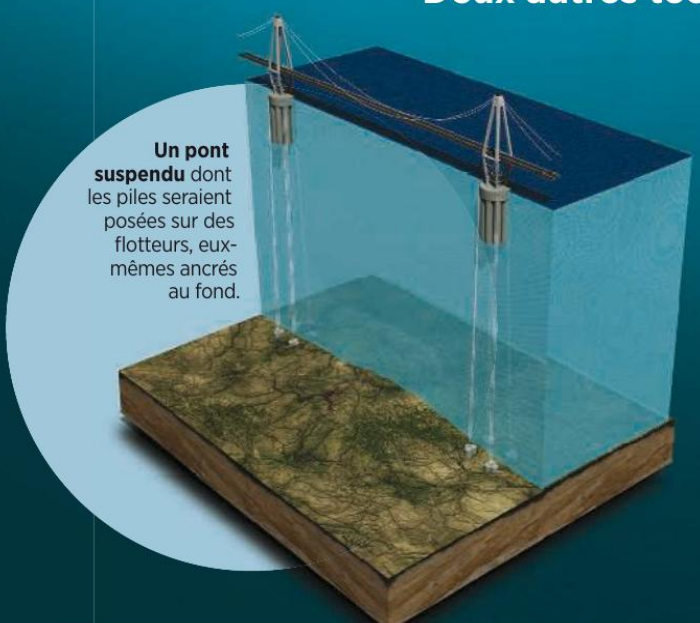
Une route côtière comportant des infrastructures uniques au monde est à l'étude en Norvège pour relier deux villes distantes de près de 1100 kilomètres.

LE PROJET DE ROUTE côtière E39 en Norvège, ralliant les villes de Kristiansand au sud et Trondheim au nord, est un casse-tête pour les ingénieurs. Objectif : construire tunnels et ponts afin que les voitures et camions n'aient plus à emprunter les ferries pour traverser les nombreux fjords présents sur le parcours. Et réduire ainsi de moitié le temps de trajet, actuellement de 21 heures pour 1100 kilomètres. Problème, certains fjords sont trop larges ou trop profonds pour être traversés par de telles infrastructures. D'où l'idée de créer un tunnel flottant, une prouesse technologique unique au monde. L'ouvrage en béton serait immergé à -20 mètres environ pour ne pas être exposé au mouvement des vagues et ne pas gêner la circulation des gros navires. Il serait suspendu à une série de flotteurs en béton *(voir le schéma)*. Deux autres techniques seront utilisées pour ce projet qui doit s'achever à l'horizon 2029 *(voir ci-dessous)*.

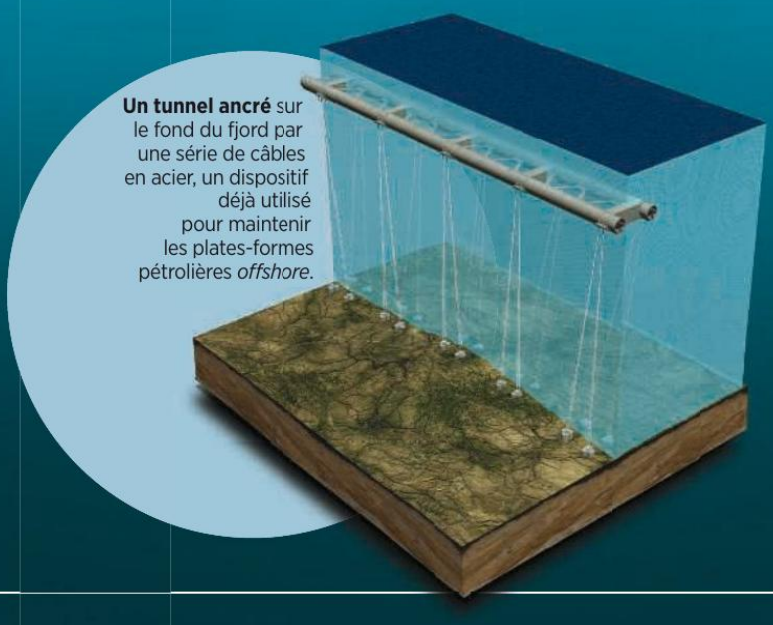
Olivier Hertel @OlivierHertel

OUVRAGES D'ART

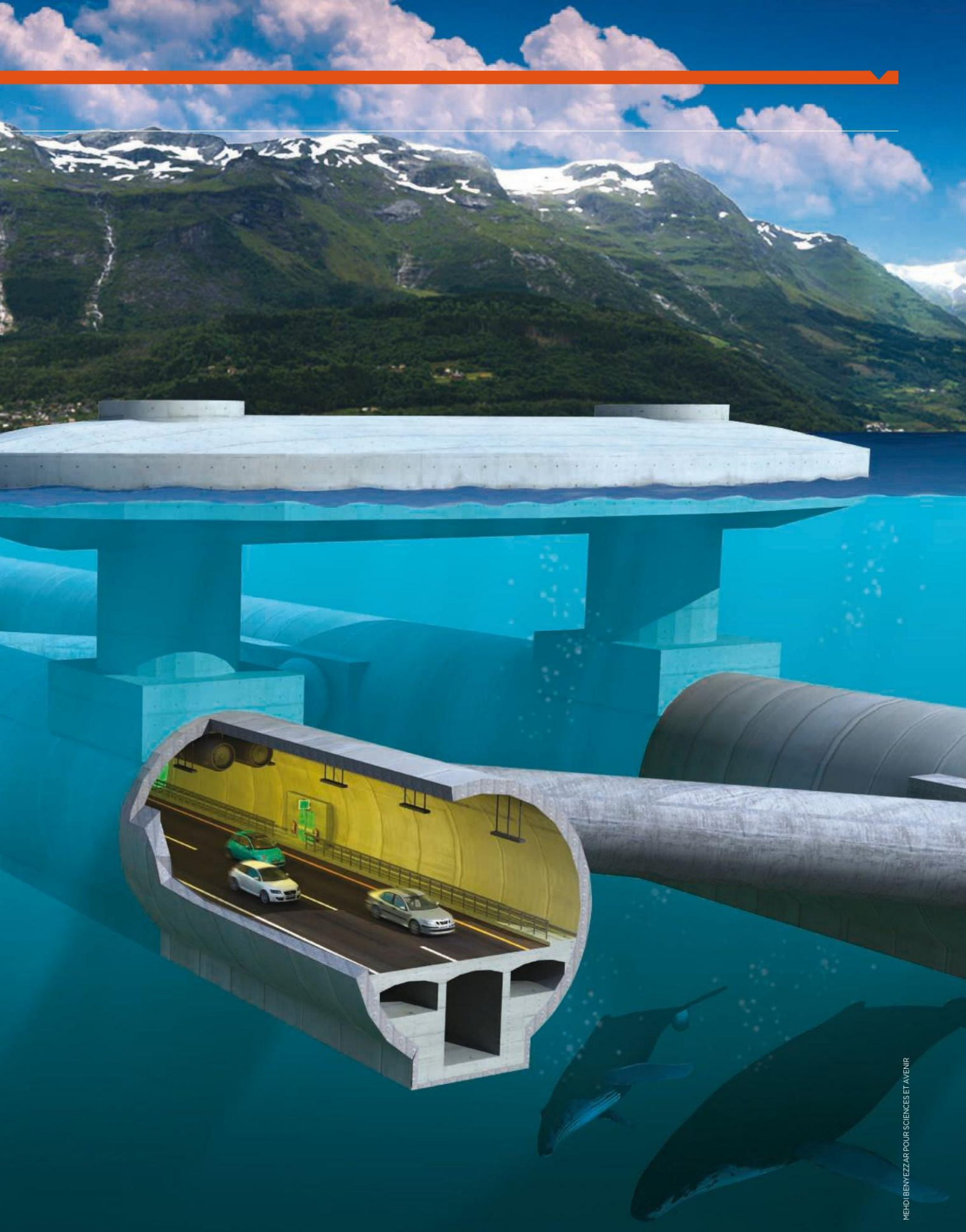
Deux autres technologies à l'étude



Un pont suspendu dont les piles seraient posées sur des flotteurs, eux-mêmes ancrés au fond.



Un tunnel ancré sur le fond du fjord par une série de câbles en acier, un dispositif déjà utilisé pour maintenir les plates-formes pétrolières *offshore*.



MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES ET AVENIR

Tristan Nitot, informaticien

Moteur de l'Internet libre

Nouveau directeur général du moteur de recherche français Qwant, ce pionnier de l'informatique, engagé en faveur du respect des données personnelles, vient d'être nommé au Comité national d'éthique du numérique.

C'est sans doute l'un des entretiens d'embauche les plus détendus de l'histoire. Tristan Nitot déjeune avec un ancien collègue de Mozilla Europe, la fondation qui se consacre au logiciel libre, dont il est le fondateur. Au dessert, il envoie un texto à Éric Léandri, P-DG et cofondateur de Qwant, le moteur de recherche français chez qui cet ami travaille désormais : « *Tu m'embauches quand ?* » Réponse immédiate : « *Quand tu veux.* » Et Tristan Nitot, alors en poste dans la start-up Cozy Cloud, devient dans la foulée vice-président *advocacy* (« plaidoyer ») de Qwant. Mission : plaider la cause de ce moteur de recherche lancé en 2013 qui fonde sa réputation sur le refus du suivi informatique des internautes, de la revente de leurs données personnelles et de de la publicité ciblée. Un an plus tard, en septembre 2019, cet informaticien chantre du respect de la vie privée et du logiciel libre — deux piliers d'une même vision selon lui — en est devenu le directeur général, en remplacement de François Messager évincé dans un contexte de turbulences internes dont la presse s'est fait l'écho.

« *Mon quotidien, ce sont des organigrammes et des budgets* », s'amuse ce quinquagénaire plein d'autodérision, qui vient de rejoindre le nouveau Comité national d'éthique du numérique. Celui-ci est chargé d'émettre des avis sur les enjeux de technologies comme l'intelligence artificielle ou les véhicules autonomes (*lire p. 25*).

Entre partenariats et multiplication des services, Qwant privilégie l'*open source*, ces outils informatiques dont le code est ouvert à tous. Des principes qu'il partage avec Laurent Chemla, figure pionnière de l'Internet français. Au lancement du projet de messagerie en *open source* de ce dernier, Tristan Nitot l'a aidé. « *On se retrouve sur beaucoup de sujets, comme la neutralité du Net*, indique Laurent Chemla. *Et je le rejoins quand il dit qu'on ne devrait ne pas être espionné même quand on n'a rien à cacher.* »

Tristan Nitot est intarissable quand il s'agit de défendre l'existence d'un moteur de recherche hexagonal, sinon européen, Petit Poucet, parti à l'assaut de l'ogre Google. « *Pour la plupart des gens, le numérique est entre les mains des Américains et l'on ne peut rien y faire. Or, le numérique est malléable. Il faut au contraire se l'approprier, car lorsqu'il est codé à l'étranger, c'est avec des valeurs qui ne sont pas les nôtres.* » Le meilleur exemple selon lui ? Le mésusage des données personnelles par Google, Facebook et consorts, sociétés nées dans un pays « *où la vie privée n'est qu'une pensée secondaire* ». L'auteur de l'ouvrage au titre éloquent *Surveillance://* (2015) se souvient du jour où, pour la Fondation Mozilla, il a rencontré les équipes d'un Facebook au début de son ascension pour discuter d'un projet d'extension du réseau social dans le navigateur Mozilla-Firefox. « *Nous avons signé un contrat-type… qui nous donnait accès à absolument toutes les données des utilisateurs de Facebook ! C'est nous qui sommes retournés les voir pour leur préciser ce dont nous ne voulions pas. Leur philosophie, c'était "servez-vous, tout le monde le fait" !* »

Des premiers pas en informatique à 14 ans

Mais Tristan Nitot le reconnaît volontiers : Facebook, doté de moyens exceptionnels, n'est pas le pire lieu de travail pour qui aime développer, innover, tester. Bref, « bricoler ». Un état d'esprit qui était le sien dès ses premiers pas en informatique à l'âge de 14 ans, lorsqu'un ami de ses parents lui prête un TRS-80, l'un des premiers ordinateurs per-

BIO EXPRESS

1966 Naissance à Suresnes (Hauts-de-Seine).

1989 Diplômé de l'école d'ingénieurs en informatique Supinfo (Paris).

1997-2003 Occupe plusieurs postes chez Netscape Communications.

2003 Fonde Mozilla Europe

2013 Siège pour trois ans au Conseil national du numérique

2015 Chef de produit pour la start-up française Cozy Cloud

2016 Publie *Surveillance://* chez C&F éditions

2019 Directeur général de Qwant

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

sonnels disponibles en France. De quoi l'occuper pendant les vacances de Pâques dans la tranquille campagne rouennaise où il vivait alors. « *Je l'ai branché dans la salle à manger, j'avais le manuel "Programmer en BASIC" et je n'ai pas décroché pendant quinze jours ! C'était extraordinaire. J'avais tout à découvrir !* » Un déménagement à Paris en 1981 et l'adolescent fonce au Centre mondial informatique et ressource humaine (CMIRH) qui vient d'ouvrir pour familiariser le public avec une culture numérique naissante. Il y croise notamment des chercheurs du Massachusetts Institute of Technology de Cambridge (États-Unis), dont Richard Stallman, à travers qui Tristan Nitot découvre la notion de « logiciel libre ». « *Dès que les animateurs avaient le dos tourné, on piratait des disquettes. On faisait n'importe quoi !* », se souvient-il.

« On se retrouve sur beaucoup de sujets, comme la neutralité du Net. Et je le rejoins quand il dit qu'on ne devrait ne pas être espionné même quand on n'a rien à cacher » **Laurent Chemla,** informaticien et entrepreneur

Du « bidouillage » au diplôme d'ingénieur

L'Internet des débuts, qui n'est pas encore le Web, est une autre révélation : le jeune garçon découvre l'univers caché derrière les machines, ces communautés qui échangent sur des forums et s'entraident à l'échelle mondiale. En parallèle, il devient développeur pour des utilisateurs d'ordinateurs de poche (PC1500) à qui il donne rendez-vous dans le café en bas de chez lui. « *Ils me payaient un Coca et me laissaient un billet de 100 francs. J'ai raté mon bac la première fois à cause de ça !* », en rit-il encore. Qu'importe : il s'offre un ordinateur Apple II et un modem, et continue ses « bidouillages ». Autant dire que le cursus d'ingénieur informatique à Supinfo à Paris ne servira qu'à valider tous ces acquis. Ses autres centres d'intérêt, la musique, la photo, plus tard la moto, peineront à tempérer ce qu'il nomme sa « fixette » sur l'informatique.

Ce fou de high-tech a tout de même veillé à ce que le rapport au numérique de son fils de 22 ans et de sa fille de 19 ans ne dérive pas. « *À mon époque, l'informatique et les ordinateurs étaient excitants, mais sans être conçus pour l'être. Aujourd'hui, Twitter, Facebook ou encore Instagram sont optimisés pour rendre l'utilisateur accro* », justifie-t-il. Aussi, pour éviter toute surconsommation d'écrans, téléphones et ordinateurs ont été interdits dans les chambres. Le *geek* s'est finalement incliné devant le père. ■

Arnaud Devillard @A_Devila

Les plantes vertes font le mur

Les nouveaux jardins verticaux « à la française » se répandent dans les villes. Ces murs végétalisés séduisent les architectes du monde entier et on peut en trouver en taille réduite pour agrémenter un intérieur.

Quinze mille végétaux appartenant à 376 espèces qui ornent les murs d'un musée face à la Seine : en 2004, l'architecture du musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac à Paris avait fait sensation. Aujourd'hui, ce concept de façade végétalisée, que l'on doit à un chercheur spécialiste des plantes tropicales au CNRS, Patrick Blanc, fait florès. Outre l'attrait esthétique, le couvert végétal contribue en effet à l'isolation thermique et phonique. Et l'attrait pour la colonisation par les plantes d'espaces urbains variés, comme les toits et les façades, est renforcé par la sensibilité croissante aux enjeux du changement climatique et de la préservation de la biodiversité. Le coût de ces installations les plus abouties oscille cependant entre 400 et 800 euros le mètre carré, auquel il faut ajouter chaque année près d'un dixième de cette somme pour l'entretien. Ce qui les réserve plutôt à une clientèle professionnelle. Le marché des particuliers commence toutefois à émerger, avec la déclinaison du concept sous forme de tableaux végétaux de petite taille et modulables dont les prix oscillent de quelques dizaines à quelques centaines d'euros.

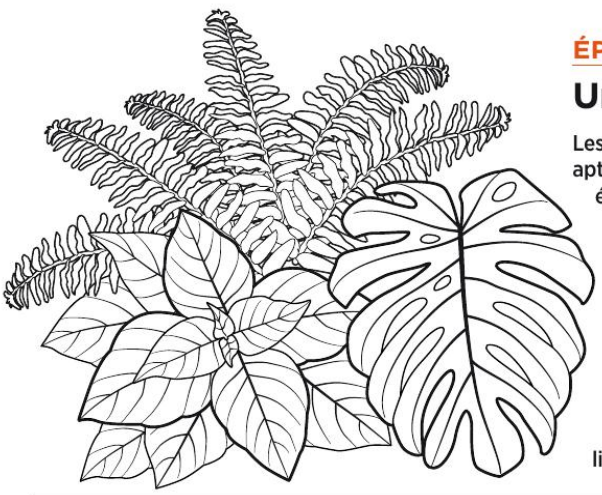
Le passage à la verticale impose des contraintes

Ce coût s'explique par les contraintes techniques du passage à la verticale comme la gestion du poids, l'encombrement et la bonne tenue dans le temps. D'où l'importance du support de culture. Il en existe principalement deux sortes : un substrat destiné à la croissance, optimisé pour emmagasiner l'eau et les substances nutritives ; ou un support d'accrochage sous la forme d'un feutre en coton renforcé ou d'un matériau synthétique fibreux, dans lequel l'eau diffuse par capillarité. Les plantes sont alors cultivées hors sol et nécessitent un moindre arrosage. L'opération se déroule de façon automatisée grâce à des capteurs et à une centrale de gestion électronique. L'eau tourne en circuit fermé — inutile donc de prévoir une arrivée d'eau à proximité — et est enrichie en nutriments selon les besoins.

Il faut bien sûr entretenir et tailler les plantes et les protéger des nuisibles. C'est pourquoi la plupart des installateurs proposent un service après-vente afin d'assurer ces opérations. Bien entretenu, un jardin vertical a une durée de vie supérieure à dix ans. Après quoi, il arrive que la structure se fragilise (déchirure du synthétique, pourriture du coton) et les substrats peuvent se tasser ou se minéraliser. ■

Muriel de Véricourt

BRUNO BOURGEOIS POUR S. ET A.



ÉPIPHYTES

Une large palette végétale

Les systèmes de culture verticale associent des centaines d'espèces aptes à cohabiter dans un volume restreint. Les plantes dites épiphytes — qui vivent en se servant d'autres plantes comme support sans pour autant les parasiter — sont naturellement adaptées à ce mode de culture. En particulier les philodendrons. Le choix se fait également en fonction de l'exposition du mur, son positionnement en intérieur ou en extérieur, la fréquence d'entretien nécessaire et l'aspect visuel souhaités. Il dépend aussi de la technique et de la nature d'un éventuel substrat. En intérieur, les murs végétaux associent souvent des espèces tropicales ou exotiques comme la fougère de Boston ou la plante aux éphélides, une vivace originaire de Madagascar et des petits ligneux comme la vigne d'appartement.

Un écosystème suspendu hors-sol…

Légers et peu encombrants, les systèmes de culture dits hydroponiques, sans substrats, permettent aux plantes de survivre en intérieur.

Des spots, dont le positionnement et l'orientation ont été optimisés pour chaque type de plante par modélisation, offrent un éclairage permettant une bonne croissance des végétaux.

L'eau et l'engrais sont délivrés goutte à goutte au sommet du dispositif.

Le cadre, en métal ou en PVC, assure l'étanchéité du dispositif. L'épaisseur totale hors plantes est inférieure à dix centimètres.

Le réseau racinaire se déploie sur toute la hauteur du mur, en s'ancrant dans la structure aérée des fibres du feutre.

Un bac de stockage placé au pied du mur permet de récupérer l'eau qui circule en circuit fermé.

Des capteurs de débit, de température et de pH contrôlent l'arrosage et l'apport d'engrais.

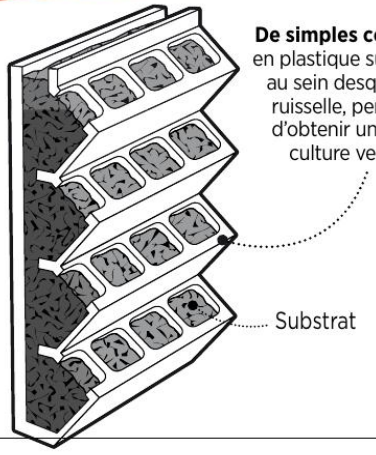
Les plantes poussent le long de trois épaisseurs de feutre qui permettent à l'eau de diffuser par capillarité.

La couche externe, constituée d'un matériau synthétique ou d'un oxyde métallique, sert d'ancrage aux racines et maintient l'humidité.

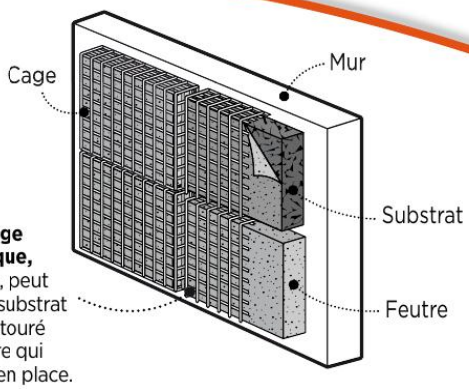
Un programmateur commande la pompe qui puise l'eau dans le bac de récupération pour déclencher l'arrosage. Il est réglé lors de l'installation en fonction du type de plante choisi.

… ou en pleine terre

En extérieur, opter pour des murs intégrant un substrat de culture présente l'avantage de reconstituer les échanges qui se produisent entre les micro-organismes du sol et les plantes. Cette solution limite les besoins en eau et en engrais.



De simples contenants en plastique superposés, au sein desquels l'eau ruisselle, permettent d'obtenir un effet de culture verticale.



Une cage métallique, ou gabion, peut contenir un substrat nutritif entouré d'un feutre qui le maintient en place.

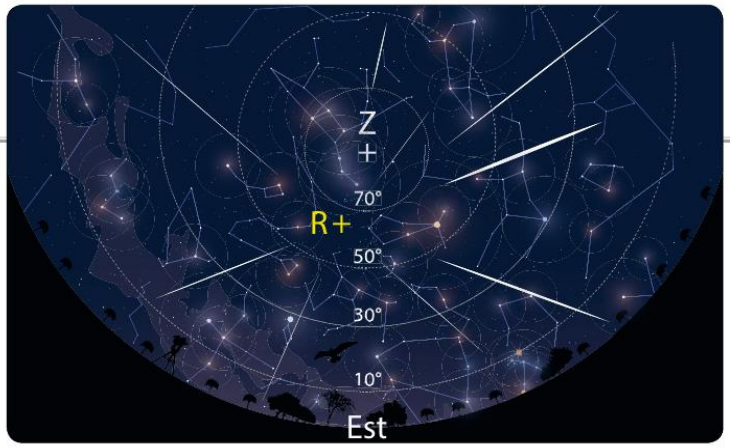
LE CIEL DE JANVIER

Où sont les planètes ?

MERCURE La petite planète passe en conjonction supérieure avec le Soleil le 10. Elle devient observable en toute fin de mois vers le couchant, très bas sur l'horizon.

VÉNUS Au cours du mois, l'étoile du Berger bénéficie à la fois du relèvement de l'écliptique sur l'horizon le soir, d'une séparation angulaire à l'astre du jour croissante et d'une latitude écliptique en augmentation. Elle se trouve donc dans des conditions d'observation chaque jour meilleures. Vous la trouverez en soirée dominant l'horizon sud-ouest. Son éclat très vif la rend immanquable.

MARS La planète Rouge est visible en fin de nuit et au petit matin sous la forme d'un point encore peu brillant. Son éclat augmente lentement au fil des semaines. Mars débute le mois dans la constellation de la Balance, entre



Aspect du ciel le 4 janvier, 2 heures avant le lever du Soleil. Les étoiles filantes semblent provenir d'un point nommé radiant et noté R sur la carte. Z marque le zénith.

Les Quadrantides, belles de l'aube

LES QUADRANTIDES sont l'une des trois plus belles pluies d'étoiles filantes de l'année. Le matin du 4, vous pourriez admirer jusqu'à une centaine de météores par heure. Leur source réside dans une comète éteinte qui, dans son parcours autour du Soleil, a laissé des poussières dans son sillage. Chaque année, entre le 28 décembre et le 12 janvier, la Terre les traverse. Ces poussières entrent en collision avec notre atmosphère. Leur vaporisation et l'ionisation de l'air sur leur chemin provoquent le phénomène d'étoiles filantes.

Notre conseil Aucun instrument d'optique n'est nécessaire, juste de la patience, un ciel dégagé et des couvertures bien chaudes !

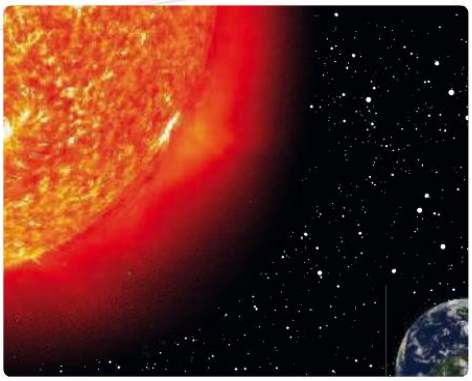
dans le Scorpion le 7 puis s'aventure dans Ophiucus à partir du 15.

JUPITER Après être passée en conjonction avec notre Soleil le 27 décembre, la plus grande des planètes redevient timidement visible en toute fin de mois, au petit matin, très bas vers le levant.

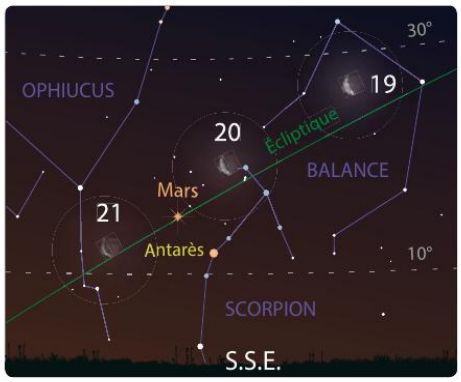
SATURNE La planète aux anneaux est en conjonction avec le Soleil le 13. Elle est inobservable ce mois. Jupiter et Saturne sont désormais à moins de 15° l'une de l'autre. Leur conjonction du 21 décembre promet d'être spectaculaire !

L'appli du mois

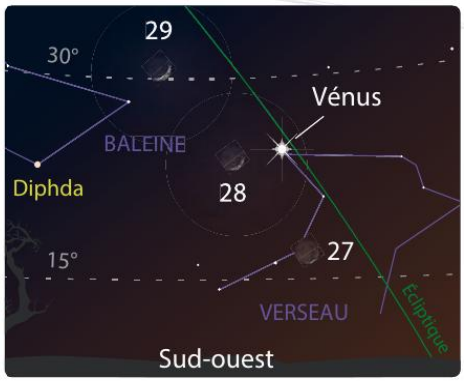
WEBASTRO est une application gratuite en français développée sous Android par la communauté astronomique Webastro.net. Elle fournit des informations utiles : actualités spatiales, éphémérides, petites annonces, forums et une liste des clubs et associations en France, Belgique et Suisse.



DIMANCHE 5, À 8 H 48 MIN TRÈS PRÉCISÉMENT, la Terre passe au périhélie. La distance Terre-Soleil atteint en cet instant son minimum pour 2020 et s'élève à 147 091 144 km.

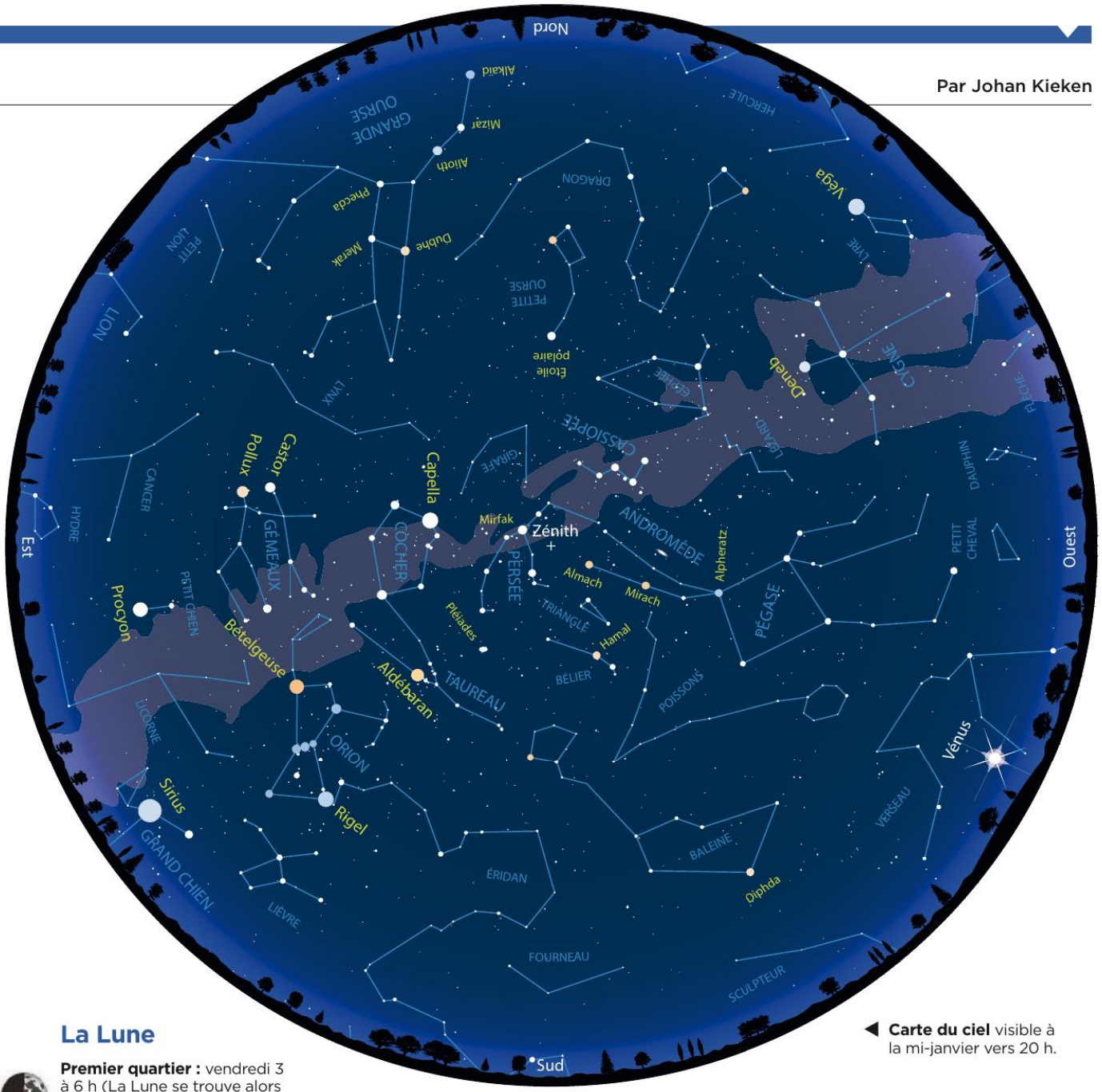


LES 20 ET 21, 1 H AVANT LE LEVER DU SOLEIL, le croissant de Lune permet de repérer sans ambiguïté Mars. Notez sa proximité à l'étoile Antarès, un peu plus brillante qu'elle.



LE SOIR DU 28, 1 H APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, le premier croissant de Lune accompagné de sa lumière cendrée seront à 5° de la planète Vénus, dans la constellation du Verseau.

Par Johan Kieken



◀ **Carte du ciel** visible à la mi-janvier vers 20 h.

La Lune

Premier quartier : vendredi 3 à 6 h (La Lune se trouve alors dans la constellation de la Baleine)

Pleine Lune : vendredi 10 à 20 h (Gémeaux)

Dernier quartier : vendredi 17 à 14 h (Vierge)

Nouvelle Lune : vendredi 24 à 23 h (Capricorne)

Éclipse par la pénombre le 10 en soirée. Phénomène décelable mais peu spectaculaire.

Le Soleil

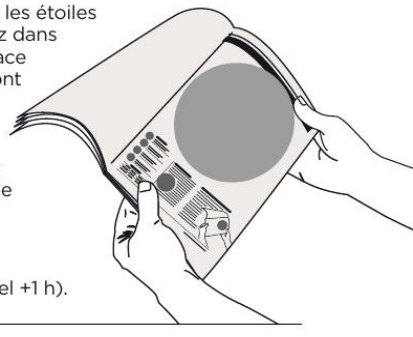
(à Paris)	Lever	Coucher
1er janvier	8h44	17h04
31 janvier	8h23	17h46

D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.

Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel +1 h).

Pages en fêtes

Un choix d'ouvrages richement illustrés pour voyager dans le temps ou l'espace, s'émerveiller de l'œuvre de la nature ou des hommes, sans omettre de réfléchir et d'enrichir son savoir.

Le cosmos en coffret

TOUT L'UNIVERS Conçu par un astrophysicien et un journaliste spécialisé, ce coffret réunit deux magnifiques ouvrages. Le premier dresse un portrait complet et détaillé des astres qui peuplent notre système solaire ; l'autre fait découvrir les profondeurs de l'espace et la nature des galaxies. Le tout accompagné de centaines de photographies, fascinantes et souvent inédites. ■ **F. D.**

Le Grand Coffret planètes et galaxies, Thorsten Dambeck et Govert Schilling, Glénat, 192 et 222 p., 64,95 €

L'anatomie selon Léonard de Vinci

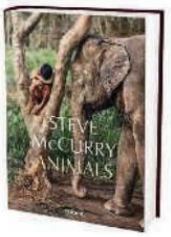
VIRTUOSE *« J'ai passionnément voulu connaître et comprendre la nature humaine, savoir ce qu'il y avait à l'intérieur de nos corps. »* Cette citation de Léonard de Vinci, placée en exergue, donne l'ambition de Dominique Le Nen, professeur de médecine et docteur en histoire des sciences : donner à voir le « pionnier de l'anatomie descriptive ». Mais pas seulement ! Le chirurgien a eu l'idée fructueuse de mettre en regard de ces esquisses « virtuoses » issues de la Royal Library les clichés obtenus par l'imagerie médicale pour en décrypter les extraordinaires similitudes ou les surprenantes divergences. Ainsi, le chirurgien souligne les découvertes du maître — comme l'écoulement du sang dans les vaisseaux — mais aussi les « errements » propres à son temps comme le placement du « sens commun », siège de l'âme, à l'intersection de deux droites dans le cerveau. Un voyage passionnant dans l'histoire des sciences. ■ **Carole Chatelain**

Léonard de Vinci, l'aventure anatomique, Dominique Le Nen, EPA, 288 p., 45 €

L'Histoire en couleurs

ARCHIVES **Depuis 1839 et les premiers documents d'archives photographiques, le monde fut durant presque un siècle, un univers en noir et blanc… Jusqu'à ce que Marina Amaral se mette à coloriser avec soin des clichés monochromes pris entre 1850 et 1960. Des photos historiques ramenant plus près de nous Charles Darwin, Marie Curie ou Howard Carter alors qu'il découvrait la tombe de Toutankhamon. Des images également troublantes de toutes les tragédies des XIXe et XXe siècles. Une histoire du monde dans la couleur du temps. ■ B. A.**

La Couleur du temps, Marina Amaral, Flammarion, 430 p., 25 €



Splendeur animale

NOS AMIS LES BÊTES Le photographe américain Steve McCurry a couvert de nombreuses zones de conflits, captant notamment la célèbre réfugiée afghane aux yeux verts, en 1984. Il s'est aussi laissé émouvoir par la tendresse qui lie humains et animaux, immortalisant magnifiquement des scènes poétiques avec des chiens, chats, chevaux, poules, éléphants, singes, etc. **S. R.**

Animals, Steve McCurry, Taschen, 252 p., 50 €

La vie mode d'emploi

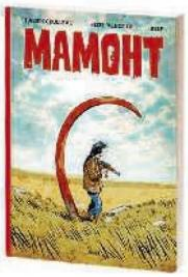
ORGANISMES Une histoire des grandes découvertes en biologie, du savoir des chasseurs-cueilleurs à celui des spécialistes de génie génétique. De l'apparition de la vie à la reproduction artificielle des espèces, en passant par la diversité des organismes vivants, cet ouvrage émerveille et donne de solides repères. **R. M.**

La Belle Histoire de la vie, Michel Gauthier-Clerc, De Boeck, 384 p., 29 €

Le ciel à l'œil nu

NOCTURNES Jamais aucun Terrien, levant les yeux la nuit, n'a vu le ciel ainsi : le disque rouge de la Lune dans un ciel piqué d'étoiles au-dessus de Venise, la Voie lactée qui s'élance depuis les silhouettes en pierre du Parc national de Rapa Nui (île de Pâques) avec, au loin, les deux nuages de Magellan, ces galaxies satellites de la nôtre. Des rubans verts d'une aurore boréale qui s'enroulent au-dessus d'un lac canadien, tandis qu'une comète et sa traînée lumineuse piquent vers les Andes à travers un fourmillement d'étoiles. L'ouvrage de Babak Tafreshi, fondateur de l'association The World at Night, est un enchantement à chaque page, loin des images astronomiques obtenues grâce aux télescopes professionnels. Ici, les plus célèbres astrophotographes réunis ne nous offrent que ce qui est à portée de regard. Mais leurs images apportent une véritable leçon de patience pour observer et recueillir chaque précieux photon. Pour rappeler, sans relâche, que nous sommes tous sous le même ciel, unis dans un même destin cosmique. ■ **Azar Khalatbari**

Le Ciel la nuit, Babak Tafreshi, Glénat 240 p., 39,95 €



Trafic de défenses

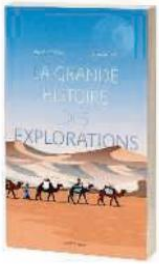
OR BLANC Le pergélisol fond et des trafiquants de tous poils se ruent à la recherche de l'or blanc sibérien : les défenses de mammouth, revendues à prix d'or. Un récit cynique, crapuleux et très bien informé sur les méthodes d'excavation désastreuses et polluantes de braconniers dont les victimes ont 100 000 ans. **R. M.**

Mamoht, Fabien Grolleau, Pixel Vengeur et Delf, Éditions Jungle, 86 p., 15,95 €

Humour climatique

DÉRISION **Peut-on rire des effets désastreux du changement climatique ? De notre folie collective en matière de pollution et de gaspillage ? Du « bla-bla » insensé qui cloue au sol la moindre initiative vertueuse ? La réponse est oui, et ça nous fait le plus grand bien ! Le dessinateur belge Pierre Kroll, préalablement diplômé en sciences de l'environnement, croque avec un humour irrésistible ces sujets dramatiques, et tourne en dérision nos gesticulations trop souvent vaines. On se laisse faire, on adore ses manchots qui bronzent et philosophent sur la fonte des glaces, car ce rire ne claque pas la porte au nez à la prise de conscience. ■ A. de B.**

Des signes qui ne trompent pas. 300 dessins pour le climat, Pierre Kroll, préface Guillaume Meurice, Les Arènes, 144 p., 20 €



Un monde d'explorations

NOUVELLES FRONTIÈRES Dans ce très bel album destiné aux plus jeunes, les illustrations de Julie Guillem sont un véritable enchantement ! Une invitation à l'évasion tout autant qu'à la découverte de la grande histoire des explorations, accompagnées par des textes clairs et concis allant de l'Antiquité à la conquête spatiale. **B. A.**

La Grande Histoire des explorations, Théophile Simon et Julie Guillem, Actes Sud junior, 88 p., 17,50 €

Fleuves au long cours

RIVES Un fleuve, ça se déplie énormément ! Du moins dans cet album aux grands aplats colorés, conçu en six volets, où les pages s'ouvrent et se déploient en longueur tels les cours d'eaux mythiques dont on découvre en texte et dessins faune et flore, légendes et peuples. Embarquez les enfants naviguer sur les flots ! **A. De B.**

Histoires de fleuves, Timothy Knapman, Ashling Lindsay et Irène Montano, Sarbacane, 48 p., 18,50 €

Des voiliers volants

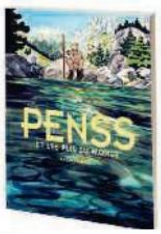
ULTIM Cet ouvrage retrace l'histoire des voiliers volants de la classe Ultim. Les auteurs racontent la création de ces engins de 32 m nés des calculs d'architectes et d'ingénieurs qui, pour les faire voler sur des foils, ont dû renverser des paradigmes. **S. R.**

Horizons ultimes, Olivier Villepreux, Anamosa, 175 p., 39 €

Parade végétale

FLORALIES C'est à un « *voyage haut en couleur dans l'intimité des fleurs* » qu'invitent ici le botaniste Frédéric Hendoux, directeur du Conservatoire botanique national du Bassin parisien et le photographe Stéphane Hette, réputé pour ses images épurées évoquant l'art floral japonais. Ils explorent l'histoire de la sexualité des plantes, du temps des dinosaures à nos jours, à travers vingt espèces de nos régions, aux stratégies de reproduction très différentes. Telle la pimprenelle qui se fie au vent, le mouron qui pratique la double fécondation, le pissenlit, dont les fleurs qui se voient de loin forment une piste d'atterrissage parfaite pour les pollinisateurs ou encore la violette odorante, farouchement autarcique à l'inverse du compagnon rouge, adepte de l'amour à trois. Une petite histoire de 300 ans des sciences de la reproduction végétale, illustrée par des vélins historiques du Muséum national d'histoire naturelle, ouvre cette superbe plongée macrophotographique et scientifique. ■ **Rachel Mulot**

Les Fleurs amoureuses ou comment se reproduire en couleurs, Stéphane Hette, Frédéric Hendoux, Salamandre, 142 p., 39 €



À l'aube de l'humanité

CLAN Penss est rêveur, mauvais à la chasse. Il n'a rien à voir avec les autres hommes de sa tribu. Inutile ? Loin de là. Le jeune homme va inventer et faire découvrir à son clan l'une des plus prodigieuses ressources de l'humanité. Une histoire rarement racontée servie par un trait aussi sauvage qu'élégant. **H. R.**

Penss et les plis du monde, Jérémie Moreau. Delcourt, 230 p., 25,95 €

Stratégie de reproduction

ÉBATS **En matière de mœurs sexuelles, les animaux n'ont de leçon à recevoir de personne. C'en est même parfois tellement inventif que ça en devient dégoûtant. Comme le mode de reproduction de *Leucochloridium paradoxum*, un ver parasite qui, pour atteindre sa forme définitive dans le ventre d'un oiseau, doit d'abord convaincre celui-ci de gober les yeux du gastéropode dans lesquels il se niche en les faisant ressembler à de grosses chenilles… Une quinzaine d'histoires naturelles du même acabit, heureusement racontées d'un trait léger et rigolo, se partagent les pages de cette BD au format italien. ■ H. R.**

Le Bestiaire extraordinaire, Patrick Baud/Salch, Delcourt, 127 p., 20 €

Magellan, bio illustrée

TRAVERSÉE Au gré d'un voyage vers l'Amérique du Sud, bercé par des rêveries mêlées d'ennui et de fascination, Stefan Zweig prit la résolution de raconter l'expédition mythique de Fernand de Magellan vers les îles Moluques. Cette œuvre très documentée est ici élégamment éditée et enrichie de cartes et d'illustrations précieuses. **A. De B.**

Magellan, Stefan Zweig, Paulsen, 332 pages, 39,50 €

Merveilles de la nature

BESTIAIRE On ne s'en lasse pas. Les plus spectaculaires images de nature, récompensées tous les ans par le jury du concours Wildlife Photographer of the Year, méritent bien le livre qui leur est consacré à cette occasion. Les sommets du genre se succèdent dans une brillante mise en page où le talent d'observation crée sans cesse la surprise : une mésange à longue queue en équilibre gracieux picore la pointe glacée d'une branchette, un guépard essoufflé montre les crocs au lycaon qui le menace, et une bande de grenouilles fête l'arrivée du printemps dans une chorégraphie bondissante *(photo)*. Que des perles, de l'émerveillement ■ A. de B.

Wildlife Photographer of the Year 2019, Biotope éditions, 160 p., 34 €

Groenland, côte ouest

INUITS Durant une résidence à bord d'un remorqueur volontairement pris dans les glaces de la banquise, l'auteure est allée à la rencontre des Inuits de la côte ouest du Groenland, de leurs traditions et croyances encore prégnantes dans leur vie actuelle. Une bande dessinée réaliste, qui donne à voir l'environnement et le quotidien des habitants de la plus grande île du monde. **S. R.**

30 jours au Groenland, Fleur Daugey, Actes Sud junior BD, 72 p., 18 €

Au cœur des archives militaires

PANOPLIES C'est un livre détonnant ! Un voyage en 100 documents au cœur de cinq bibliothèques militaires méconnues du grand public. On y trouve des plans de sièges de la guerre d'Indépendance américaine, où la France était engagée aux côtés des insurgés, en 1781 ; le premier traité illustré de machines de guerre, *De re militari* (XV^e^ siècle), en passant par la découverte du monde, l'exploration scientifique de l'Algérie en 1840 ; les relevés des polytechniciens qui accompagnèrent Napoléon en Égypte (1798-1801) ; l'exploration de l'Océanie ou celle du Mékong… Sans oublier des traités de bandages et appareils à l'usage des chirurgiens des armées, côtoyant l'art de la charpenterie navale… avec un chapitre gastronomique sur l'art de vivre en temps de siège (1871)… et ses recettes « de rôti de chat » ou de « cheval en mironton » ! C'est donc à une promenade décoiffante dans les collections de Saint-Cyr-Coëtquidan, de Polytechnique, de l'École militaire, du Service historique de la Défense et du service de santé des armées que convie cet ouvrage richement illustré. ■ **Bernadette Arnaud.**

100 Trésors des bibliothèques militaires, éditions Pierre de Taillac, ministère des Armées, 380 p., 34 €

Fascinantes routes de la soie

CONTACTS Cartes, itinéraires, atlas, photos, nous invitent à parcourir les fascinantes « routes de la soie » — terrestres et maritimes —, à la lumière des dernières connaissances. Ou comment ces itinéraires permirent de 200 avant J.-C. à 1400 après, échanges commerciaux et contacts, entre les lointains mondes steppiques eurasiatiques, la Chine, l'Afrique et l'Occident. **B. A.**

Quand l'Orient regarde l'Occident, Dominique Lanni, Éditions Paulsen, 320 p., 39,50 €

BERNARD MARTINEZ

EXPOSITIONS

Bourges (18)

Photographes de nature
Comme chaque année, le muséum présente l'exposition « Wildlife Photographer of the Year » organisée par le Natural History Museum de Londres.
Muséum d'Histoire naturelle, les Rives d'Auron (parc des expositions), jusqu'au 1er mars.
Rens. : 02.48.65.37.34.

Bruxelles (Belgique)

Crossroads
La chute de l'Empire romain revisitée dans un voyage à travers le Haut Moyen Âge, à la rencontre des Avars, des Francs, des Byzantins, des Égyptiens et des Vikings.
Musée Art&Histoire, 10, parc du Cinquantenaire, jusqu'au 29 mars.
Rens. : +32.(0)2.741.73.31.

Guiry-en-Vexin (95)

Archéonimaux. L'Homme et l'animal, une histoire commune
Le lien entre l'humain et l'animal exploré de façon ludique à travers cinq défis à relever par l'expérimentation.
Musée d'Archéologie du Val-d'Oise, place du Château, jusqu'au 20 septembre.
Rens. : 01.34.33.86.00.

Nîmes (30)

Bâtir un Empire. Une exploration virtuelle des mondes romains
Comment les cités du bassin Méditerranéen se sont construites sous l'Empire romain, sous l'angle de l'urbanisme et de l'architecture.
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, du 20 décembre au 8 mars 2020.
Rens. : 04.48.21.02.10.

Paris (75)

Frapper le fer. L'art des forgerons africains
À travers près de 230 œuvres, l'exposition dévoile l'une des traditions de fer forgé les plus sophistiquées au monde, entretenue depuis plus de 2500 ans.
Musée du Quai-Branly-Jacques-Chirac, 37, quai Branly, jusqu'au 29 mars.
Rens. : 01.56.61.70.00.

Paris (75) / Exposition

Musée de la Poste

On les appelait des « boules de Moulins ». Des sphères creuses en zinc dans lesquelles la poste française enfermait des lettres à destination de Paris, capitale assiégée pendant la guerre de 1870-1871. Centralisées à Moulins, dans l'Allier, elles étaient transportées au plus près des lignes prussiennes qui encerclaient la capitale. Là, elles étaient jetées dans la Seine afin que le courant les emporte en ville. Mais l'astuce fut un échec total, aucune boule n'ayant atteint Paris ! Cette étonnante invention peut à nouveau être vue aujourd'hui au musée de la Poste qui, après cinq ans de rénovation, a rouvert ses portes. « *L'idée consiste à aller au-delà de l'histoire du timbre* », précise l'architecte Frédéric Jung, en charge également de la muséographie. Sur trois étages, le fonds permanent raconte ainsi l'histoire des transports du courrier, entre maquettes de bateaux et de trains postaux, affiches pour l'Aéropostale, télégraphe électrique et Minitel. On tombe même sur un lecteur-enregistreur de… carte postale parlante ! Les philatélistes ont tout de même « leur » étage, avec un panorama des timbres-poste de 1849 à aujourd'hui ainsi que des exemples de collaboration entre la poste et des artistes pour dessiner des timbres. Car ces liens ont parfois été étroits : ainsi le peintre Pierre Soulage a-t-il personnellement supervisé l'impression du timbre qu'il créa en 1986. ■

Arnaud Devillard

T. DEBONNAIRE/MUSÉE DE LA POSTE-LA POSTE

Le vélo du facteur, des affiches de film… retracent l'aventure postale.

Musée de la Poste, 34, bd de Vaugirard.
Rens. : 01.42.79.24.24.

Rouen (76)

Mon précieux… à chacun son trésor
Dans le cadre de la 8e édition du programme « Le Temps des collections », le muséum s'interroge sur la notion de trésor, de l'Antiquité à nos jours.
Muséum d'Histoire naturelle, jusqu'au 24 février.
Rens. : 02.35.71.41.50.

Saint-Étienne (42)

Design-moi un jeu vidéo
Près d'une cinquantaine de jeux vidéo sont présentés pour découvrir les processus créatifs qui ont présidé à leur conception.
Cité du design, 3, rue Javelin-Pagnon, jusqu'au 8 mars.
Rens. : 04.77.49.74.70.

Toulouse (31)

Code alimentation
Scénarisée par des auteurs de SF en collaboration avec des chercheurs, cette exposition propose d'appréhender l'alimentation du futur dans un parcours-jeu.
Quai des savoirs, allée Matilda, jusqu'au 6 septembre.
Rens. : 05.67.73.84.84.

ET AUSSI

Paris (75)

Nuit de la lecture
Un événement du ministère de la Culture pour inciter à lire et faire découvrir bibliothèques et librairies dans toute la France en présence de plusieurs scientifiques.
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou, le 18 janvier.
Programme : nuitdelalecture.culture.gouv.fr

PARTENARIAT

Nuit des idées
Cette 5e édition avec pour thème « être vivant » abordera en divers lieux sur tous les continents la question des équilibres écologiques et de la relation de l'humain au monde.
Le 30 janvier 2020.
Programme : www.lanuitdesidees.com/fr

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : **sciav.fr/guideexpos**

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

ASTRONOMIE

Quelle est la plus grande distance observable dans l'Univers ?

Pascal J.

Tout dépend si l'on utilise la lumière — sur laquelle est fondée quasi toute l'astronomie — ou d'autres types de messagers. Dans le premier cas, grâce à des instruments comme l'observatoire spatial Planck, les astronomes ont pu observer la première lumière de l'Univers, le fond diffus cosmologique émis environ 380 000 ans après le Big Bang. Mais depuis 2015, une nouvelle astronomie est née. Le messager est cette foi l'onde gravitationnelle. Les événements observés jusque-là se situent en deçà du fond diffus cosmologique. Mais pour l'astronome Jean-Loup Puget, *« lorsque nos détecteurs seront assez sensibles, nous pourrons peut-être remonter jusqu'à l'inflation qui aurait eu lieu 10^{-35} seconde après le Big Bang »*. ■ **A. Kh.**

VULCANOLOGIE

À quand une éruption d'un supervolcan ?

Antoine C.

La dernière « super-éruption » sur la planète est celle du Taupo en Nouvelle-Zélande, il y a environ 25 000 ans. Elle avait éjecté environ 1000 milliards de débris et de cendres dans l'air. En 2017, des chercheurs de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) ont estimé le laps de temps moyen entre deux super-éruptions à environ 17 000 ans, avec un intervalle de 5000 à 48 000 ans. Auparavant les estimations étaient plus élevées : entre 45 000 à 714 000 ans. La plupart des supervolcans de la planète sont aujourd'hui éteints. Mais ce n'est pas le cas de celui de Yellowstone aux États-Unis. Sa dernière super-éruption remonte à il y a 630 000 ans. Mais impossible de prévoir précisément quand se produira la prochaine. ■ **L. L.**

CDC/BSIP

Quatre souches de virus en circulation composent le vaccin, 2 de type A et 2 de type B.

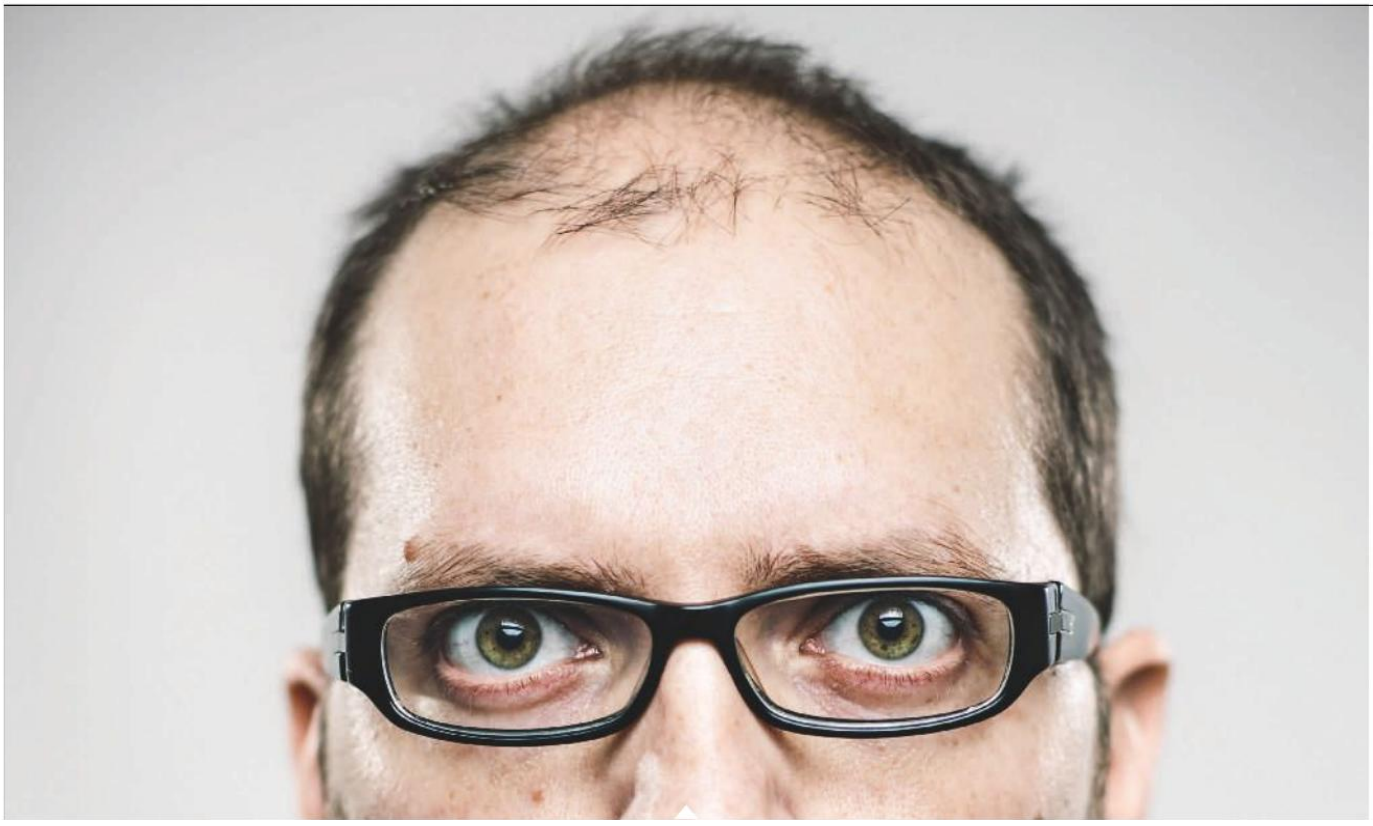
PHARMACOLOGIE

Comment élabore-t-on le vaccin contre la grippe ?

Caroline T.

La composition du vaccin contre la grippe change chaque année. Pour définir cette composition, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) analyse les données de ses 143 centres de la grippe, répartis dans 114 pays et regroupés au sein d'un réseau appelé GISRS (Global Influenza Surveillance and Response System). Ces centres surveillent la circulation des virus et collectent des prélèvements sur des patients (sécrétions dans la gorge, le nez...). Ils transmettent leurs données aux six « centres collaborateurs » mondiaux. Ainsi, connaissant les souches de virus en circulation, l'OMS émet ses recommandations sur la composition des vaccins antigrippe pour l'hiver suivant. Elle le fait deux fois par an : en février pour l'hémisphère Nord et en septembre pour l'hémisphère Sud. C'est sur cette base que sont élaborés les vaccins par les laboratoires pharmaceutiques. Plus les virus qui les composent correspondent à ceux qui circuleront réellement, plus la vaccination sera efficace. Sauf qu'il est impossible de le savoir avec précision à l'avance. Résultat : depuis 2018, et à la suite d'une recommandation de l'OMS visant à mieux protéger les populations, le vaccin contient quatre souches contre trois auparavant afin d'augmenter les chances que la « bonne » se trouve parmi elles. Cet hiver 2019-2020, le vaccin contient ainsi deux souches de type A (H1N1 et H3N2) et deux de type B prélevées au Kansas (États-Unis) et à Phuket (Thaïlande). Trois vaccins sont disponibles en pharmacie : InfluvacTetra (Mylan), FluarixTetra (GSK) et Vaxigrip-Tetra (Sanofi). ■ **Lise Loumé**

@LysLoume



GETTY IMAGES

Le finastéride augmente au mieux de 10 % la masse de cheveux sur le dessus du crâne et pourrait entraîner troubles de l'érection et pensées suicidaires.

Le traitement anticalvitie est-il dangereux ?

CONTEXTE. Le tribunal de grande instance de Nanterre a ordonné le 12 novembre des expertises sur les effets secondaires du finastéride (Propecia).

À L'ORIGINE, LE FINASTÉRIDE était une molécule prescrite en cas d'hypertrophie bénigne de la prostate avec des comprimés dosés à 5 mg. En 1999, il a reçu une nouvelle indication pour traiter la calvitie (alopécie androgénique) avec des comprimés dosés à 1 mg. Le finastéride inhibe en effet l'enzyme (5-alpha-réductase) qui convertit la testostérone en une molécule deux fois plus puissante, la dihydrotestostérone (DHT), impliquée dans les fonctions reproductives et dans le développement de la calvitie. En clair, le finastéride empêche la formation de la DHT, réduisant ainsi son effet délétère sur le cuir chevelu. Le traitement consiste en des comprimés à prendre à vie. En réalité, il induit au mieux une augmentation d'environ 10 % du volume capillaire sur le dessus du crâne, mais pas sur les tempes. Pis, selon l'Afvin (Aide aux victimes du finastéride), qui regroupe une partie de ses 30 000 utilisateurs en France et a recensé plusieurs études scientifiques, il semble lié à nombre d'effets indésirables : dépression, troubles érectiles, pensées suicidaires, etc. Début 2019, trois patients ont même porté l'affaire devant le tribunal de Nanterre (Hauts-de-Seine).Il sera cependant difficile aux experts désignés par la justice d'établir un lien certain entre le traitement et ces effets indésirables potentiels, tant les éléments scientifiques sont maigres. « *Pour l'instant, nous n'avons pas de preuve irréfutable. Tout ce dont nous disposons, ce sont des témoignages des patients* », avoue Hervé Lejeune, endocrinologue et professeur de biologie et de médecine reproductive à l'hôpital Claude-Bernard, à Lyon.

Outre ces témoignages, il y a celui des proches de Romain Mathieu. En 2014, le jeune homme, alors âgé de 25 ans, s'était vu prescrire du finastéride (vendu sous le nom de Propecia) pour enrayer la chute de ses cheveux. Mais sa dermatologue ne l'avait pas informé des possibles effets secondaires. Pourtant, très vite,

sont survenus des troubles de l'érection et du sommeil. Traversant des périodes d'intense fatigue qui le rendaient incapable de toute activité, le jeune homme s'est donné la mort en juin 2016. C'est d'ailleurs sa mère qui a créé l'Avfin, laquelle a recensé une trentaine d'effets secondaires qui toucheraient entre 1 et 20 % des personnes traitées.

Des effets secondaires irréversibles

Les patients traités pour des problèmes de prostate seraient aussi concernés. Le professeur François Desgrandchamps, chef du service d'urologie à l'hôpital Saint-Louis, à Paris, estime pour sa part que *« les effets secondaires sexuels s'élèvent à 20 % des patients dont le traitement est dosé à 5 mg. »* Et ces effets secondaires persisteraient même après l'arrêt du traitement ! *« Ces malades ne sont pas pris au sérieux*, se désole le médecin, *car nous sommes dans une culture médicale où les effets secondaires sont censés disparaître à l'arrêt du médicament. Or, on peut ainsi se demander si un phénomène d'apoptose — c'est-à-dire de mort cellulaire — ne serait pas à l'œuvre, conduisant ainsi à une irréversibilité du mécanisme. »* Même constat pour le Dr Ronald Virag, sexologue à Paris : *« On observe une persistance des effets durant des jours, des mois, voire des années après l'arrêt du traitement. Il faudrait une étude approfondie en IRM fonctionnelle. Aujourd'hui, je serais incapable de vous dire sa nature, mais il est certain qu'il existe un lien entre ce traitement et les effets décrits. »* Le collège d'experts désignés a huit mois pour se prononcer. ■

Hervé Ratel

Le dernier avis de l'ANSM sur le finastéride : sciav.fr/875ANSM

LE MOT DU MOIS

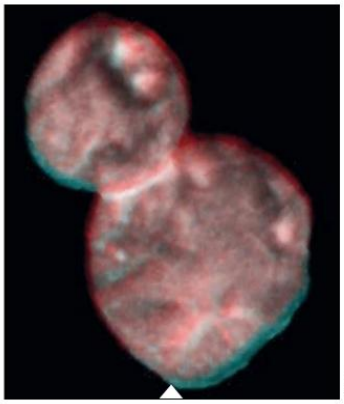
Sperm positive

C'est le nom d'une banque de sperme qui vient d'ouvrir ses portes en Nouvelle-Zélande, pour recueillir les dons de personnes séropositives. Une première mondiale. Pour le moment, l'établissement ne compte que trois donneurs. Tous porteurs du VIH, mais avec une charge virale indétectable, ce qui signifie que le virus n'est pas transmissible. La banque de sperme informera ses clients sur le statut sérologique de ses donneurs en leur expliquant l'absence de risque de transmission du virus. L'insémination, en revanche, sera réalisée dans des cliniques habilitées. Une façon de redonner confiance aux personnes séropositives en leur montrant qu'elles peuvent donner la vie en toute sécurité. *« Beaucoup de personnes vivant avec le VIH souffrent toujours de stigmatisation,* estime le Dr Mark Thomas, médecin infectiologue et professeur à l'université d'Auckland. *Cette situation peut entraîner une mauvaise observance des traitements médicamenteux, ce qui rend le traitement contre le VIH moins efficace et augmente le risque de le transmettre. »* En France, un porteur du virus du sida ne peut pas faire de don de sperme. ■

Coralie Lemke
@CoralieLemke

Pourquoi l'astéroïde Ultima Thulé a-t-il été renommé ?

CONTEXTE. Le 12 novembre, les équipes qui ont participé à la découverte et à l'exploration de 2014 MU 69 ont retenu Arrokoth comme nom définitif pour l'astéroïde.



NASA

2014 MU69 a finalement reçu un nom amérindien qui signifie ciel.

Le 1er janvier 2019, la sonde spatiale américaine New Horizons survolait l'astéroïde 2014 MU 69, situé à plus de 6 milliards de kilomètres du Soleil. Un exploit célébré par toute la communauté scientifique : c'était le corps céleste le plus lointain jamais visité. Mais rapidement, une polémique est née autour de son nom provisoire, Ultima Thulé. Les astronomes de la Nasa l'avaient choisi en référence à l'île de Thulé, un lieu mythique mentionné dès l'Antiquité par un Grec voyageur, Pythéas de Marseille, sans que personne ne le situe jamais sur une carte.

Une référence déplacée à un mythe raciste

Ce morceau de terre du Nord extrême (peut-être les îles Féroé, entre l'Islande et la Norvège) était devenu pour les auteurs antiques la fin du monde connu. Une référence féconde, puissante source d'inspiration pour d'innombrables auteurs, comme l'expose dans son essai, *La Survie littéraire de la Thulé de Pythéas*, l'historienne belge Monique Mund-Dopchie. Hélas ! elle fut aussi récupérée par Hitler. *« Les nazis en ont fait le foyer originel des Indo-Européens ou Aryens, continent mythique polaire et englouti »*, explique l'archéologue et préhistorien français Jean-Paul Demoule, professeur émérite à l'université Paris-I.

Cet usage raciste du mythe d'Ultima Thulé aurait-il dû empêcher la Nasa de choisir ce nom ? *« New Horizons est sans doute l'un des meilleurs exemples d'exploration totale et le nom d'Ultima Thulé, qui est très ancien, en est un merveilleux synonyme*, s'est d'abord justifié Alan Stern du Southwest Research Institute, l'un des maîtres d'œuvre de la mission. *Ce n'est pas parce que des sales types ont aimé ce nom que nous allons les laisser se l'approprier.* » Mais le poids de l'histoire a été trop fort. L'équipe a finalement retenu Arrokoth, terme qui signifie « ciel » en powhatan, une langue parlée par une tribu amérindienne de la côte est des États-Unis. Ce sera officiellement l'appellation de l'astéroïde après validation par l'Union astronomique internationale. ■

Joël Ignasse et Olivier Lascar

Spécial * Vidéos *

www.sciencesetavenir.fr

Sciences et Avenir au quotidien

SANTÉ

500 spécialistes des maladies pulmonaires récompensés

Coralie Lemke, journaliste
@CoralieLemke clemke@sciencesetavenir.fr

BSIP

Le Prix Balzan remet chaque année des récompenses à des projets remarquables en sciences et sciences humaines. Fin 2019, un réseau de chercheurs allemands a été primé pour ses travaux en pneumologie. Les explications de la professeure Erika Von Mutius qui a dirigé ces recherches. sciav.fr/Balzan19

ARCHÉOLOGIE

La grotte Chauvet, copie parfaite

Valentine Delattre, journaliste vidéo
@sciencecomptoir vdelattre@sciencesetavenir.fr

SIPA

Au cœur de l'Ardèche, un chef-d'œuvre d'impressionnisme 36 000 ans avant Claude Monet : la grotte Chauvet, riche de ses immenses panneaux aux animaux typiques de la période glaciaire (rennes, bisons, chevaux…). Visite de sa réplique et entretien avec des spécialistes dans notre reportage. sciav.fr/Chauvet

Nos liens Internet simplifiés. sciencesetavenir.fr devient sciav.fr

Les liens Internet conseillés dans les pages du journal le sont sous la forme du préfixe sciav.fr/ suivi d'une chaîne de lettres et chiffres qu'il faut taper intégralement dans la barre de navigation de votre navigateur Internet en respectant les majuscules et les minuscules. Ainsi, ci-dessus, le lien sciav.fr/Chauvet renvoie directement au reportage consacré à la visite de la réplique de la grotte Chauvet.

TILRAY

SANTÉ

La fabrique de cannabis thérapeutique

Héloïse Chapuis, journaliste
@HeloiseChapuis hchapuis@sciencesetavenir.

La France doit débuter une phase d'expérimentation durant ce premier semestre 2020 visant à explorer les bienfaits thérapeutiques du cannabis sur les symptômes de certaines maladies (épilepsie pharmaco-résistante, douleurs chroniques, etc.). Depuis cette annonce, le géant canadien de l'industrie du cannabis Tilray s'est porté candidat pour fournir le marché pharmaceutique français. *Sciences et Avenir* vous fait découvrir en vidéo son site de production européen qui s'étend sur 24 hectares au Portugal. Tilray exporte déjà ses produits finis — huiles buvables, capsules, crèmes — dans 13 pays et, en Europe, fournit les pharmacies allemandes en fleurs de cannabis séchées, qui contiennent le principe actif de la plante. sciav.fr/cannabis

À L'OCCASION DE LA CROISIÈRE « EXPÉDITION DU SAVOIR », EN PARTENARIAT AVEC SCIENCES ET AVENIR

SPÉCIAL ANTARCTIQUE

« Un continent dédié à la science »

BIOSPHOTO

Spécialiste des régions polaires, Rémy Marion explique que l'exploration de zones inconnues du continent glacé doit permettre de voir *« comment évoluent la glace et le climat. Ce sont des informations qui vont servir à l'ensemble de l'humanité et de la planète ».* sciav.fr/875Marion

La folle histoire de la station Brown

SIPA

L'historien américain Ed Webster raconte l'aventure des occupants de la station antarctique Brown, abandonnés dans les années 1980 par leur pays d'origine, l'Argentine. Le médecin de la station avait menacé : *« Si on ne vient pas nous chercher, j'y mets le feu ! »* sciav.fr/Brown875

Un modèle pour la vie extraterrestre

AFP

« Je ne pense pas que notre planète soit le seul lieu à abriter la vie. » Spécialiste des écosystèmes antarctiques, la microbiologiste brésilienne Ema Kuhn explique qu'une vie sur les lunes glacées de Saturne et Jupiter pourrait ressembler à celle des eaux du pôle Sud. sciav.fr/875vieET

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook

Partez à la découverte des joyaux du patrimoine *en Île-de-France*

+ OFFERT
Un guide pratique

5,90€

124 pages - En vente actuellement chez votre marchand de journaux et sur leparisien.fr/hors-serie

Le Parisien

PORTES OUVERTES DU 17 AU 20 JANVIER*

CITROËN

SUV en classe confort

CITROËN C5 AIRCROSS

SMOOTH UNIQUE VEHICLE

SUSPENSIONS AVEC BUTÉES HYDRAULIQUES PROGRESSIVES®

CITROËN ADVANCED COMFORT

3 sièges arrière indépendants et de même largeur
Volume de coffre record : jusqu'à 720 L**
Grip Control avec Hill Assist Descent**
Sièges Advanced Comfort**
20 aides à la conduite**

À partir de

239€/MOIS(1)

Après un 1er loyer de 3 400 €, sans condition de reprise, LLD 48 mois/40 000 km, 4 ans : entretien, garantie

Automobiles CITROËN : RCS Paris 642 050 199

Smooth Unique Vehicle = Véhicule au confort unique.
Citroën préfère Total **Modèle présenté : SUV Citroën C5 Aircross PureTech 130 S&S BVM6 Shine avec options Jantes alliage 19'' ART Black, Teinte Blanc Nacrée et toit bi-ton Noir Perla Nera et pack look Silver Anodisé (370 €/mois après un 1er loyer de 3 400 € selon les conditions de l'offre détaillée ci-après).** (1) Exemple pour la Location Longue Durée sur 48 mois et 40 000 km d'un SUV Citroën C5 Aircross PureTech 130 S&S BVM6 Start neuf, hors option ; soit un 1er loyer de 3 400 € puis 47 loyers de 239 € incluant l'assistance, l'extension de garantie et l'entretien au prix de 31 €/mois pour 48 mois et 40 000 km (au 1er des deux termes échu). Montants exprimés TTC et hors prestations facultatives. Offre non cumulable, valable jusqu'au 31/01/20, réservée aux particuliers, dans le réseau Citroën participant et sous réserve d'acceptation du dossier par CREDIPAR/PSA Finance France, locataire gérant de CLV, SA au capital de 138 517 008 €, RCS Nanterre n° 317 425 981, 9 rue Henri Barbusse CS 20061 92623 Gennevilliers Cedex. *Selon autorisation préfectorale. **Équipement de série, en option ou non disponible selon les versions. •Détails sur citroen.fr.

CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE CO_2 DE SUV CITROËN C5 AIRCROSS (SOUS RÉSERVE D'HOMOLOGATION) : NEDC CORRÉLÉ DE 1,8 À 5,6 L/100 KM ET DE 39 À 131 G/KM – WLTP DE 1,4 À 7,5 L/100 KM ET DE 32 À 169 G/KM.

INSPIRED BY YOU

NOUVEAUX MOTEURS EURO 6 DISPONIBLES IMMÉDIATEMENT•